



Varmesektorens emissioner og emissionsreduktionsmuligheder ved efterisolering af enfamiliehuse

Skjerk Christensen, Peter; Halsnæs, Kirsten; Nielsen, Lars Henrik; Sørensen, Henrik

Publication date:
1989

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Skjerk Christensen, P., Halsnæs, K., Nielsen, L. H., & Sørensen, H. (1989). *Varmesektorens emissioner og emissionsreduktionsmuligheder ved efterisolering af enfamiliehuse*. Risø National Laboratory. Risø-M No. 2808

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

VARMESEKTORENS EMISSIONER OG EMISSIONSREDUKTIONSMULIGHEDER
VED EFTERISOLERING AF ENFAMILIEHUSE

Peter Skjerk Christensen

Kirsten Halsnæs

Lars Henrik Nielsen

Henrik Sørensen

Systemanalyseafdelingen

Forskningscenter Risø, DK 4000 Roskilde, Danmark

September 1989

Risø-M-2808

VARMESEKTORENS EMISSIONER OG EMISSIONSREDUKTIONSMULIGHEDER
VED EFTERISOLERING AF ENFAMILIEHUSE

Peter Skjerk Christensen

Kirsten Halsnæs

Lars Henrik Nielsen

Henrik Sørensen

Systemanalyseafdelingen

Abstract. I nærværende rapport fokuseres på luftbårne miljøbelastninger forbundet med brændselsforbruget til boligopvarmning.

Mængder af forbrændingsprodukterne SO_2 , NO_x , PAH og CO_2 , der årligt emitteres med røggasserne fra opvarmningsanlæg i den danske boligmasse, er belyst.

På landstotalniveau er emissionerne beskrevet opdelt på boligtype og opvarmningsform. Med samme opsplætning er desuden angivet gennemsnitlige specifikke emissioner pr. m^2 boligareal.

For udvalgte typer af enfamiliehuse er emissionsforholdene analyseret detaljeret set i relation til opvarmningsform og totale boligopvarmningsomkostninger.

(fortsættes næste side)

Forskningscenter Risø, DK 4000 Roskilde, Danmark

September 1989

Særlig vægt er lagt på de emissionsreduktioner, der kan opnås ved efterisolering af enfamiliehuse.

En række efterisoleringsalternativer er gennemregnet og sammenlignet. Boligerne repræsenterer typiske enfamiliehuse, der kunne være opført i 1975, 1962 og år 1900. Varmeforsyningsanlægget i boligerne er enten oliefyring eller direkte elvarme.

Konsekvenser for økonomi, brændselsforbrug og emissioner er beregnet for de opstillede efterisoleringsalternativer. Resultaterne er sammenholdt med velkendte opvarmningsmuligheder.

Slutrapport for projektet:

Analyse af miljøinvesteringer i varmesektoren

Projektet er udført i henhold til projektbeskrivelsen af 24. juni 1988, Systemanalyseafdelingen, Risø og bevillings-skrivelsen af 1. juli 1988 fra Byggestyrelsen, 5. kontor.

ISBN 87-550-1561-1

ISSN 0418-6435

Grafisk Service, Risø 1989

INDHOLD	Side
1. INDLEDNING	5
2. KORT OM EMISSIONER	7
2.1. Emissionsreduktion	7
2.2. Skadevirkninger	8
3. OPGØRELSE AF BOLIGMASSENS EMISSIONER	11
3.1. Samlede emissioner for boligmassen	11
3.2. Specifikke emissioner	19
4. ANALYSER PÅ STANDARDBOLIGER	25
4.1. MISA-modellen	26
4.2. Generelle beregningsforudsætninger	34
4.3. Standardboliger	41
4.4. Emissioner, energiforbrug og økonomi for ud- valgte opvarmningsteknologier	53
4.5. Efterisolering	59
4.6. Emissionsreduktionsmuligheder og omkostninger ved efterisolering i enfamiliehuse	65
5. KONKLUSION	86
REFERENCER	88
Bilag 1: BBR-88. Oversigt over boligmassen	89
Bilag 2: BBR-87. Oversigt over beboelsesarealer %-vis opdelt på opførelsesperioder og opvarmnings- form	94
Bilag 3: Varmeisoleringskrav fra danske bygnings- reglementer	96
Bilag 4: A model for analysing environment driven in- vestments in the Danish space heating sector .	98

1. INDLEDNING

I nærværende rapport fokuseres på miljøbelastninger forbundet med brændselsforbruget til boligopvarmning. Mængder af forbrændingsprodukterne SO₂, NO_x, PAH og CO₂, der årligt emitteres med røggasserne fra opvarmningsanlæg i den danske boligmasse, er belyst.

På landstotalniveau er emissionerne beskrevet opdelt på boligtype og opvarmningsform. Med samme opsplitning er desuden angivet gennemsnitlige specifikke emissioner pr. m² boligareal.

For udvalgte typer af enfamiliehuse er emissionsforholdene analyseret detaljeret set i relation til opvarmningsform og totale boligopvarmningsomkostninger. Særlig vægt er lagt på de emissionsreduktioner, der kan opnås ved efterisolering af enfamiliehuse.

En række efterisoleringsalternativer er gennemregnet og sammenlignet. Boligerne repræsenterer typiske enfamiliehuse, der kunne være opført i 1975, 1962 og år 1900. Varmeforsyningsanlægget i boligerne er enten oliefyring eller direkte elvarme.

Konsekvenser for økonomi, brændselsforbrug og emissioner er beregnet for de opstillede efterisoleringsalternativer. Resultaterne er sammenholdt med andre velkendte opvarmningsmuligheder.

Rapporten er opdelt i en oversigtsdel og en del indeholdende mere detaljerede analyser for enfamilieboliger:

- Oversigter:

Oversigtsdelen indeholder emissionsopgørelser for hele boligmassen. Der er beregnet

- totale opgørelser af SO₂-, NO_x-, CO₂- og PAH-emissioner opsplittet på BBR's boligkategorier og opvarmningformer, og
- specifikke emissioner pr. m² boligareal opsplittet på de samme kategorier.

(Kapitel 3)

- Detailanalyser:

Detailanalyser omfatter typiske enfamiliehuse, der repræsenterer tre aldersgrupper i boligmassen.

Økonomiske, energi- og emissionsberegninger er udført for et udvalg af

- opvarmningsformer og
- efterisoleringsmuligheder i enfamiliehuse.

Hovedvægten er lagt på belysning af emissionsreduktionsmulighederne ved efterisolering af enfamiliehuse.

(Kapitel 4)

Detailanalyserne vil kunne danne udgangspunkt for estimater af emissionsreduktionsmuligheder og hermed forbundne omkostninger for større udsnit af boligmassen. Dette forudsætter dog et kendskab til efterisoleringspotentialet i boligmassen.

2. KORT OM EMISSIONER

2.1. Emissionsreduktion

Boligopvarmning i Danmark er i langt overvejende grad baseret på afbrænding af fossile brændsler.

På nær mindre bidrag fra vedvarende energikilder i tilknytning til fjernvarme- og elproduktion, brændeovne (angivet under "ovne/andet" i Bilag 1.3) samt mindre bidrag fra halmfyr er energikilden fossile brændsler for samtlige opvarmningsformer i boligmassen.

Brændselsforbruget til opvarmning af boliger, der har olie- fyr og direkte elvarme, udgør alene henholdsvis 39% og 10% af det totale brændselsforbrug til boligopvarmning på ca. 272 PJ i 1987 (Bilag 1.3). Det tilhørende opvarmede areal udgør henholdsvis 41% og 8% af det samlede areal i 1987, der er på ca. 342 mill. (Bilag 1.2). Det totale antal af boliger i Danmark er i Bilag 1.1 opgjort til 1,7 mill.

Opvarmningsformerne involverer forbrændingsprocessen og medfølgende udslip til atmosfæren af forbrændingsprodukter (emissioner), der - for en række forbrændingskomponenters vedkommende - forurener miljøet.

Emissioner forbundet med fjernvarme og direkte elvarme sker "centralt" og fra høje skorstene i modsætning til emissioner fra eksempelvis olie- og naturgasfyr i enfamiliehuse, hvor kilderne er mange, små og i lav højde.

Den kemiske sammensætning af emissionerne til atmosfæren

afhænger af det anvendte brændsel og den benyttede forbrændingsteknologi. Mængden af emitterede stoffer følger naturligvis brændselsforbruget, som atter afhænger af effektiviteten for energiomsætningen af brændslets energiindhold (bruttoenergiforbruget) til nyttiggjort energi (nettoenergiforbruget).

Emissionsreduktioner kan derfor opnås ved reduktion af nettoenergibehovet, effektivitetsforbedringer af opvarmnings-systemerne, ændring af brændselssammensætning eller ved brug af rensningsteknologier, som "flytter" emissionen fra luft til andre recipienter.

2.2. Skadevirkninger

I det følgende gives en kort karakteristik af de væsentligste skadevirkninger ved emission af SO_2 , NO_x , CO_2 og PAH fra energisystemet.

Ved forbrænding af fossile brændsler som kul og olie ud-sendes (emitteres) blandt andet kuldioxid og vanddamp samt svovldioxid (SO_2) og kvælstofoxider (NO_x) til atmosfæren. Kul og olie er af organisk oprindelse og indeholder normalt mellem 0,5 og 5% svovl, hvoraf det meste ved forbrænding omdannes til SO_2 . Emissionen af NO_x til atmosfæren stammer dels fra en oxidation af brændslets kvælstof, dels fra oxidation af kvælstoffet i den tilførte forbrændings-luft.

I atmosfæren omdannes (oxideres) SO_2 og NO_x efterhånden til henholdsvis sulfater og nitrater, dels i form af svovlsyre og salpetersyre, dels i form af salte. Omdannelseshastigheden afhænger af mange forskellige faktorer, som f.eks.

lysintensitet, fugtighed, stofsammensætninger og koncentrationer samt katalysatorer.

Såvel SO_2 og NO_x som deres oxidationsprodukter kan have en række effekter af økologisk, materialemæssig og sundhedsmæssig karakter. Effekterne kan indtræffe nær ved forureningskilden, men kan også på grund af langtransport i atmosfæren ske fjernt fra forureningskilden - eventuelt i et andet land, end hvor de forurenende stoffer bliver udsendt (Forsuringsudvalget, 1984).

Udsendelse af kuldioxid medfører sammen med en række andre stoffer (chlorfluorcarboner, methan, lattergas m.m.), at atmosfærens evne til at holde på solvarmen øges, og den såkaldte drivhuseffekt opstår. Det kan medføre globale temperaturstigninger, give ændringer i nedbørsmønstret og forøge sandsynligheden for ekstreme vejr-situationer (Fenger og Laut, 1989).

Et andet miljøbelastende stof, som emitteres fra energisystemet, og som behandles i denne rapport, er PAH.

Polycykliske aromatiske hydrocarboner (PAH) er kulbrinte-forbindelser, som består af to eller flere sammensatte benzenringe.

PAH tilhører den større gruppe af polycyklisk organisk materiale (POM), hvortil foruden de rene PAH hører methylerede og på anden vis substituerede PAH samt heterocycliske forbindelser, hvor N-, O- eller andre atomer indgår i ringstrukturen.

Dannelsen af PAH sker dels som en naturlig proces over meget lang tid i fossile aflejringer, hvorfor PAH er til

stede i rigt mål i olie og kul, og dels som en meget hurtigt forløbende proces i forbindelse med ufuldstændig forbrænding af organisk materiale med indhold af kulstof og brint. Det er den sidstnævnte proces, der er interessant her.

Mængden og arten af pyrolyseprodukter (herunder PAH) afhænger af brændslets art og dels af forbrændingsbetingelserne, d.v.s. af forbrændingsaggregatets indretning og de mere eller mindre stabile driftsforhold, forbrændingen foregår under.

PAH og andre nært beslægtede stoffer har påkaldt sig miljømæssig interesse, dels fordi en række af forbindelserne er påvist kræftfremkaldende i dyreforsøg, og dels fordi de dannes og spredes ved så at sige al forbrænding af organisk og fossilt materiale.

Initiering af kræft er kun ét omend væsentligt aspekt af PAH-forbindelsernes biologiske effekter. Derudover er nogle PAH mistænkt for kræftpromiterende virkning. Dette er specielt interessant, fordi det menes, at tilstedeværelsen af kræftpromitorer forøger den generelle kræftirisiko væsentligt ved de lave doser, som mennesker normalt udsættes for (Gudmundsson, 1988).

3. OPGØRELSE AF BOLIGMASSENS EMISSIONER

Oversigtstabeller for emissioner af SO₂, NO_x, PAH og CO₂ forbundet med brændselsforbrug til opvarmning af boligmassen er beregnet.

Opgørelsen omfatter opvarmningsteknologierne registreret i BBR. Boligmassen er i opgørelserne opsplittet på boligtype og opvarmningsform.

Emissionsberegningerne er baseret på BBR-88 og Energistyrelsens brændselsforbrugsopgørelser i form af specifikke brændselsforbrug for boligmassen. Virkningsgrader og emissionsfaktorer er de samme, som anvendtes i forbindelse med Energiministeriets Statusnotat 88.

De samlede opgørelser for boligmassen er suppleret med oversigter over specifikke emissionstal angivet pr. år og pr. m² boligareal.

3.1. Samlede emissioner for boligmassen

De emissioner, som er knyttet til boligopvarmning, afhænger dels af den anvendte opvarmningsform, dels af det benyttede brændsel. Brændselsmængden bestemmes af nettovarmebehov, idet hver enkelt opvarmningsform tilskrives en virkningsgrad. Nettovarmebehovet er bestemt af dels boligens areal, dels af dens alder.

Kendskabet til emissionsfaktorerne for de fyringsanlæg, som betragtes i denne rapport, herunder el- og kraftvarmeprodu-

cerende anlæg, er behæftet med nogen usikkerhed, afhængigt af arten af emissionen. For SO_2 's vedkommende kan emissionen beregnes ved hjælp af brændselsanalyser samt en antagelse om den i asken tilbageholdte svovlmængde for kuls vedkommende. For NO_x og PAH's vedkommende er emissionen stærkt afhængig af bl.a. de øjeblikkelige forbrændingstemperaturer. Specielt PAH's emissionsfaktor er behæftet med stor usikkerhed. Emission af kuldioxid afhænger af brændslets sammensætning, og faktorerne forudsætter en fuldstændig forbrænding, hvilket næppe opnås i de helt små ildsteder som f.eks. pejse.

En analyse af oplysninger i BBR (opdateret i 1988) giver en opgørelse af det opvarmede areal fordelt på bygningstyper og opvarmningsformer som vist i Bilag 1.2. Ud fra dette og med kendskab til bygningernes aldre og med antagelser om det specifikke enhedsforbrug af nettovarme på aggregeret niveau (enhedsforbrug fra Energistyrelsen 1988) fås det samlede nettovarmebehov, som vist i Bilag 1.3.

Herefter kan brændselsforbruget beregnes, idet man til hver kategori antager en gennemsnitlig årsvirkningsgrad (årseffektiviteter fra Energistyrelsen 1988). Brændselsforbrugene er vist i Bilag 1.4. Her bør nævnes, at kolonnen "fjernvarme" dækker over dels kraftvarme, dels over olie/kul/skrald/halmfyret fjernvarme, og derfor er denne kolonne, såvel hvad brændsel som hvad emissioner angår, en vægtet middelværdi af de indgående produktioner.

De totale emissioner vist i tabel 3.1 til 3.4.

Tabel 3.1. Beregnede SO₂-emissioner i 1988

Hele landet	Emissioner SO ₂ tons Fjernvarme	Emissioner SO ₂ tons Naturgas	Emissioner SO ₂ tons Cfr/Olie	Emissioner SO ₂ tons Cfr/Halm	Emissioner SO ₂ tons Cfr/Fast	Emissioner SO ₂ tons Varmepumpe	Emissioner SO ₂ tons Cfr/Andet	Emissioner SO ₂ tons Ovne/El
PARCELHUSE	9801.0	0.0	4257.3	8.7	460.9	513.0	148.6	7887.3
TAET/LAV BOL.	3135.5	0.0	303.5	0.3	10.2	16.0	31.0	1381.4
STUEHUSE	46.3	0.0	1601.8	138.0	551.0	60.6	65.4	910.3
ETAGEBOLIGER OFF	586.6	0.0	50.8	0.0	26.5	0.0	1.5	16.3
ETAGEBOLIGER PR.	13320.1	0.0	1431.2	2.0	33.2	20.7	45.6	495.9
KONTOR, SERV. OFF	3744.6	0.0	425.1	0.1	6.1	3.0	14.8	267.6
KONTOR, SERV. PR.	5890.1	0.0	1276.0	1.6	70.6	37.4	47.9	1456.7
FREMST. VIRKS. OFF	69.3	0.0	4.9	0.0	0.4	0.0	1.6	37.2
FREMST. VIRKS. PR.	63.3	0.0	9.3	0.1	4.1	0.0	3.3	66.6
DOKUMINT, HOSP.	1544.2	0.0	283.7	0.0	8.9	0.5	6.4	115.1
SOMMERHUSE	1.9	0.0	8.4	0.0	1.2	0.1	1.0	1395.2
IALT	38202.9	0.0	9652.0	151.0	1173.1	651.2	367.0	14029.5
Hele landet	Emissioner SO ₂ tons Ovne/Olie	Emissioner SO ₂ tons Ovne/Fast	Emissioner SO ₂ tons Ovne/Ngas	Emissioner SO ₂ tons Ovne/andet	Emissioner SO ₂ tons Ingen	Emissioner SO ₂ tons Ej fastlagt	Emissioner SO ₂ tons Uoplyst	Emissioner SO ₂ tons Ialt
PARCELHUSE	95.1	526.1	0.0	31.9	0.0	0.0	0.0	23730.0
TAET/LAV BOL.	16.0	40.2	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	4948.1
STUEHUSE	40.3	453.6	0.0	9.9	0.0	0.0	0.0	3877.1
ETAGEBOLIGER OFF	4.3	21.9	0.0	81.9	0.0	0.0	0.0	789.8
ETAGEBOLIGER PR.	58.5	198.2	0.0	455.2	0.0	0.0	0.0	16060.5
KONTOR, SERV. OFF	7.4	12.6	0.0	15.9	0.0	0.0	0.0	4497.2
KONTOR, SERV. PR.	51.1	73.6	0.0	73.2	0.0	0.0	0.0	8978.1
FREMST. VIRKS. OFF	0.3	0.7	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	117.6
FREMST. VIRKS. PR.	0.3	0.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	149.9
DOKUMINT, HOSP.	3.4	6.1	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	1975.0
SOMMERHUSE	14.6	105.4	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	1538.8
IALT	291.2	1438.9	0.0	705.4	0.0	0.0	0.0	66662.1

Tabel 3.2. Beregnede NO_x-emissioner i 1988

Hele landet	Emissioner NOx tons Fjernvarme	Emissioner NOx tons Naturgas	Emissioner NOx tons Ctr/Olie	Emissioner NOx tons Ctr/Halm	Emissioner NOx tons Ctr/Fast	Emissioner NOx tons Varmepumpe	Emissioner NOx tons Ctr/Andet	Emissioner NOx tons Ovne/El
PARCELHUSE	5600.6	253.7	2365.2	3.4	39.5	485.7	57.2	7467.3
TAET/LAV BOL.	1791.7	42.3	168.6	0.1	0.9	15.2	11.9	1307.8
STUEHUSE	26.5	4.7	889.9	53.1	47.2	57.3	25.2	861.8
ETAGEBOLIGER OFF	335.2	8.9	28.2	0.0	9.1	0.0	1.5	15.5
ETAGEBOLIGER PR.	7611.5	160.3	795.1	2.0	11.4	19.6	45.6	469.5
KONTOR, SERV. OFF	2139.8	122.6	236.2	0.1	2.1	2.8	14.8	253.3
KONTOR, SERV. PR.	3365.8	192.9	708.9	1.6	24.2	35.4	47.9	1379.1
FREMST. VIRKS. OFF	39.6	1.2	2.7	0.0	0.2	0.0	1.6	35.2
FREMST. VIRKS. PR.	36.1	1.5	5.1	0.1	1.4	0.0	3.3	63.0
DOKNINST, HOSP.	882.4	56.7	157.6	0.0	3.1	0.4	6.4	109.0
SOMMERHUSE	1.1	0.0	4.7	0.0	0.1	0.1	0.4	1320.9
IALT	21830.2	844.8	5362.2	60.5	138.9	616.5	215.6	13282.4

Hele landet	Emissioner NOx tons Ovne/Olie	Emissioner NOx tons Ovne/Fast	Emissioner NOx tons Ovne/Ngas	Emissioner NOx tons Ovne/andet	Emissioner NOx tons Ingen	Emissioner NOx tons Ej fastlagt	Emissioner NOx tons Uoplyst	Emissioner NOx tons Ialt
PARCELHUSE	52.8	45.0	3.6	19.6	0.0	0.0	0.0	16393.5
TAET/LAV BOL.	8.9	3.4	1.1	8.6	0.0	0.0	0.0	3360.6
STUEHUSE	22.4	38.8	0.1	6.1	0.0	0.0	0.0	2033.0
ETAGEBOLIGER OFF	2.4	1.9	0.4	45.5	0.0	0.0	0.0	448.6
ETAGEBOLIGER PR.	32.5	17.0	1.5	252.9	0.0	0.0	0.0	9418.8
KONTOR, SERV. OFF	4.1	1.1	1.6	8.8	0.0	0.0	0.0	2787.3
KONTOR, SERV. PR.	28.4	6.3	1.2	40.7	0.0	0.0	0.0	5832.2
FREMST. VIRKS. OFF	0.1	0.1	0.1	1.8	0.0	0.0	0.0	82.5
FREMST. VIRKS. PR.	0.2	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	112.2
DOKNINST, HOSP.	1.9	0.5	1.8	3.8	0.0	0.0	0.0	1223.5
SOMMERHUSE	8.1	9.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	1351.2
IALT	161.8	123.2	11.5	395.9	0.0	0.0	0.0	43043.4

Tabel 3.3. Beregnede CO₂-emissioner i 1988

Hele landet	Emissioner CO ₂ ktons	Emissioner Naturgas	Emissioner CO ₂ ktons Ctr/Olie	Emissioner CO ₂ ktons Ctr/Halm	Emissioner CO ₂ ktons Ctr/Fast	Emissioner CO ₂ ktons Varmepumpe	Emissioner CO ₂ ktons Ctr/Andet	Emissioner CO ₂ ktons Ovne/El
PARCELHUSE	1856.3	288.7	3500.5	3.8	80.5	103.2	116.6	1586.8
TRÆT/LAV BOL.	593.9	48.2	249.5	0.1	1.8	3.2	24.3	277.9
STUEHUSE	8.8	5.3	1317.0	60.4	96.2	12.2	51.3	183.1
ETAGEBOLIGER OFF	111.1	3.4	41.8	0.0	4.6	0.0	1.2	3.3
ETAGEBOLIGER PR.	2522.8	60.8	1176.8	0.9	5.8	4.2	35.8	99.8
KONTOR, SERV. OFF	709.2	46.5	349.5	0.1	1.1	0.6	11.6	53.8
KONTOR, SERV. PR.	1115.6	73.2	1049.1	0.7	12.3	7.5	37.6	293.1
FREMST. VIRKS. OFF	13.1	0.4	4.1	0.0	0.1	0.0	1.2	7.5
FREMST. VIRKS. PR.	12.0	0.6	7.6	0.0	0.7	0.0	2.6	13.4
DØGNINST. HOSP.	292.5	21.5	233.2	0.0	1.6	0.1	5.0	23.2
SOMMERHUSE	0.4	0.0	6.9	0.0	0.2	0.0	0.8	280.7
IALT	7235.7	548.6	7936.1	66.1	204.9	131.0	287.9	2822.5
Hele landet	Emissioner CO ₂ ktons Ovne/Olie	Emissioner CO ₂ ktons Ovne/Fast	Emissioner CO ₂ ktons Ovne/ogas	Emissioner CO ₂ ktons Ovne/andet	Emissioner CO ₂ ktons Ingen	Emissioner CO ₂ ktons Ej fastlagt	Emissioner CO ₂ ktons Uoplyst	Emissioner CO ₂ ktons Ialt
PARCELHUSE	78.2	91.9	4.1	25.0	0.0	0.0	0.0	7735.6
TRÆT/LAV BOL.	13.1	7.0	1.3	11.0	0.0	0.0	0.0	1231.3
STUEHUSE	33.1	79.2	0.1	7.8	0.0	0.0	0.0	1854.6
ETAGEBOLIGER OFF	3.5	3.8	0.5	67.3	0.0	0.0	0.0	240.5
ETAGEBOLIGER PR.	48.1	34.6	1.7	374.3	0.0	0.0	0.0	4365.5
KONTOR, SERV. OFF	6.1	2.2	1.8	13.0	0.0	0.0	0.0	1195.6
KONTOR, SERV. PR.	42.0	12.8	1.4	60.2	0.0	0.0	0.0	2705.5
FREMST. VIRKS. OFF	0.2	0.1	0.1	2.6	0.0	0.0	0.0	29.5
FREMST. VIRKS. PR.	0.3	0.1	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	39.3
DØGNINST. HOSP.	2.8	1.1	2.1	5.6	0.0	0.0	0.0	588.5
SOMMERHUSE	12.0	18.4	0.0	8.6	0.0	0.0	0.0	328.1
IALT	239.4	251.3	13.1	577.5	0.0	0.0	0.0	20314.1

Tabel 3.4. Beregnede PAH-emissioner i 1988

Hele landet	Emissioner PAH kg Fjernvarme	Emissioner PAH kg Naturgas	Emissioner PAH kg Ctr/Olie	Emissioner PAH kg Ctr/Halm	Emissioner PAH kg Ctr/Fast	Emissioner PAH kg Varmerpumper	Emissioner PAH kg Ctr/Andet	Emissioner PAH kg Ovne/El
PARCELHUSE	22.6	101.5	946.1	201.2	7.9	1.0	3430.3	15.6
TAET/LAV BOL.	7.2	16.9	67.4	7.7	0.2	0.0	714.8	2.7
STUEHUSE	0.1	1.9	356.0	3185.2	9.4	0.1	1509.4	1.8
ETAGEBOLIGER OFF	1.4	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	2.3	0.0
ETAGEBOLIGER PR.	30.7	0.2	3.2	3.1	0.1	0.0	70.1	1.0
KONTOR, SERV. OFF	8.6	0.2	0.9	0.2	0.0	0.0	22.7	0.5
KONTOR, SERV. PR.	13.6	0.3	2.8	2.5	0.1	0.1	73.6	2.9
FREMST. VIRKS. OFF	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.1
FREMST. VIRKS. PR.	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	5.0	0.1
DOKUMENT, HOSP.	3.6	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	9.8	0.2
SOMMERHUSE	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	23.6	2.8
IALT	88.0	121.0	1379.1	3400.0	17.8	1.3	5864.2	27.7

Hele landet	Emissioner PAH kg Ovne/Olie	Emissioner PAH kg Ovne/Fast	Emissioner PAH kg Ovne/NGas	Emissioner PAH kg Ovne/andet	Emissioner PAH kg Ingen	Emissioner PAH kg Ej fastlagt	Emissioner PAH kg Uoplyst	Emissioner PAH kg Ialt
PARCELHUSE	21.1	18.0	1.4	12259.5	0.0	0.0	0.0	17026.2
TAET/LAV BOL.	3.6	1.4	0.4	5392.1	0.0	0.0	0.0	6214.5
STUEHUSE	8.9	15.5	0.0	3815.6	0.0	0.0	0.0	8904.1
ETAGEBOLIGER OFF	0.9	0.8	0.2	18.2	0.0	0.0	0.0	24.0
ETAGEBOLIGER PR.	13.0	6.8	0.6	101.2	0.0	0.0	0.0	229.9
KONTOR, SERV. OFF	1.6	0.4	0.6	3.5	0.0	0.0	0.0	39.4
KONTOR, SERV. PR.	11.4	2.5	0.5	16.3	0.0	0.0	0.0	126.4
FREMST. VIRKS. OFF	0.1	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	3.5
FREMST. VIRKS. PR.	0.1	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	6.1
DOKUMENT, HOSP.	0.8	0.2	0.7	1.5	0.0	0.0	0.0	17.5
SOMMERHUSE	3.2	3.6	0.0	4236.6	0.0	0.0	0.0	4271.8
IALT	64.7	49.3	4.6	25845.8	0.0	0.0	0.0	36863.4

Kommentarer

Fordeling af energibehovet på boligtyper og opvarmningsformer er vanskelig, da man ikke har en fordeling af brændselsforbruget på grundlag af salgstal mellem de boligkategorier, som er anvendt her. Derfor er det nødvendigt at supplere brændselsstatistikken med tilpassede enhedsforbrug knyttet til oplysninger i BBR, nemlig det opvarmede areal, boligens type og opvarmningsform, kendskab til bygningstypernes specifikke varmekonsum, afhængigt af deres form, alder og anvendelse, og endelig kendskab til opvarmningsinstallationens virkningsgrad og brændselstype.

Denne metode har visse svagheder, idet langt fra alle oplysninger er tilgængelige, hvorfor der er -- for dog at få visse indikationer af størrelsen af de interessante variable -- anvendt en række -- i visse tilfælde grove -- antagelser, herunder gennemsnitsbetragtninger. F.eks. er det specifikke varmebehov kun opdelt i to aldersklasser, boliger bygget før og efter 1979, men på den anden side ville selv en finere aldersgruppering ikke umiddelbart medføre bedre oplysninger om variationen af isoleringsstandarden, hvor uoplyste forbedringer formentlig spiller en vis rolle. Hvad salgstallene angår, kunne der formentlig også tænkes forskellig opfattelse af den kategorisering, der her anvendes, især når antallet af individuelle leveringer tages i betragtning.

Tabel 3.1 viser de beregnede emissioner af SO_2 fra boligmassen i 1988.

Det fremgår, at den totale SO_2 -emission er opgjort til ca. 67 kton for 1988.

Heraf udgør SO₂-emissionen fra fjernvarme ca. 57%, hvilket er knyttet til ca. 37% af den samlede opvarmede areal i boligmassen (se Bilag 1.2).

Emissionen forbundet med elopvarmede boliger udgør ca. 21% af totalen, og olieopvarmede boliger tegner sig for ca. 14% af den totale SO₂-emission. SO₂-emissionen fra elopvarmede boliger er således større end fra olieopvarmede boliger, på trods af at det olieopvarmede areal i boligmassen er godt 5 gange større end det elopvarmede areal (se Bilag 1.2).

Det bemærkes, at naturgasfyring ikke bidrager til SO₂-emissionen.

Betragtes NO_x-emissionerne, vist i tabel 3.2, ses nogenlunde det samme mønster for fjernvarme, oliefyring og elvarme som for SO₂-emissionerne. Den totale NO_x-emission er opgjort til ca. 43 kton i 1988.

CO₂-emission, vist i tabel 3.3, er for 1988 opgjort til ca. 20 mill. tons for den samlede boligmasse. Fordelingen på fjernvarme, olieopvarmning, direkte elvarme og naturgasfyring er henholdsvis 35%, 39%, 14% og 3%. Den mere detaljerede struktur i disse tal fremgår mest tydeligt af de specifikke emissioner vist i tabel 3.7.

Tabel 3.4. over PAH-emissionerne viser, at de betydelige emissionskilder her er andre opvarmningsformer, end tilfældet var for SO₂-, NO_x- og CO₂-emissionen fra boligmassen. Det største bidrag til PAH-emissionen ses at komme fra "Ovne/andet", der her er brændeovne m.v. Disse tegner sig for ca. 70% af den totale emission på ca. 37 tons i 1988.

3.2. Specifikke emissioner

I tabel 3.5-3.8 er de specifikke emissioner (emission/opvarmet areal) for boligopvarmningen opgjort, hvor hvert tal repræsenterer et gennemsnit over pågældende boligtypers aldersfordeling.

Total-emissionerne vist i tabel 3.1-3.4 er omregnet til specifikke emissioner pr. m^2 boligareal, vist som tabellerne 3.5-3.8, og udtrykker derfor midlede værdier over såvel bygningernes alder, opvarmningsformens effektivitet, som specifikke emissioner.

Disse specifikke emissioner bygger på forudsætninger om nettoenergibehov, effektiviteter for opvarmningsteknologierne og emissionsfaktorer i boligmassen. Tallene skal derfor tolkes med de forbehold, som usikkerhederne i disse forudsætninger indebærer.

De specifikke emissioner er nyttige til at relatere emissioner til specifikke nettoenergibehov og brændselsforbrug udtrykt pr. m^2 opvarmet boligareal.

Det fremgår af tabel 3.5, at den gennemsnitlige SO_2 -emission i boligmassen pr. m^2 opvarmet areal i 1988 er opgjort til $195 \text{ g } SO_2/m^2$.

En speciel høj specifik SO_2 -emission er knyttet til centralvarme med fast brændsel og direkte elvarme. Over gennemsnittet ligger desuden ovne fyret med fast brændsel, varmepumper og fjernvarme. Gasoliebaseret opvarmning ses at ligge væsentligt under gennemsnittet for boligmassen.

Tabel 3.5. Specifikke SO₂-emissioner i 1988

Hele landet	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Fjernvarme !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Naturgas !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ctr/olie !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ctr/halm !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ctr/fast !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Varmepumpe !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ctr/andet !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ovne/el !
Parcelhuse	279.9	0.0	65.1	131.6	491.3	371.0	129.6	673.5
Tæt/lav bol.	249.9	0.0	60.4	124.8	456.3	327.3	114.2	602.5
Stuehuse	357.2	0.0	81.8	164.8	616.0	460.3	163.8	856.5
Etageboliger of	339.9	0.0	73.1	99.1	442.3	0.0	98.3	838.6
Etageboliger pr	335.6	0.0	72.8	96.5	443.5	443.1	95.3	818.6
Kontor, serv.off	304.9	0.0	65.4	89.4	394.0	400.3	87.1	745.1
Kontor, serv.pr.	304.8	0.0	65.4	88.1	393.6	404.2	87.6	739.1
Fremst.virks.of	195.8	0.0	42.2	45.5	205.8	0.0	54.0	464.4
Fremst.virks.pr	193.5	0.0	42.2	45.5	222.6	210.3	57.4	475.3
Døgninst,hosp.	409.4	0.0	88.3	0.0	527.3	563.3	108.4	939.7
Sommerhuse	67.0	0.0	15.4	0.0	116.2	86.5	31.0	164.6
Ialt	305.2	0.0	68.7	159.0	525.5	380.3	114.5	522.7

Hele landet	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ovne/olie !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ovne/fast !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ovne/Ngas !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ovne/andet !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ingen !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ej fastlagt !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Uoplyst !	SPEC.EMISSION. ! SO ₂ g/m ² ! Ialt !
Parcelhuse	65.4	495.7	0.0	131.4	0.0	0.0	0.0	187.9
Tæt/lav bol.	59.8	467.1	0.0	119.4	0.0	0.0	0.0	222.7
Stuehuse	82.1	622.3	0.0	164.8	0.0	0.0	0.0	158.4
Etageboliger of	78.4	593.7	0.0	109.8	0.0	0.0	0.0	229.1
Etageboliger pr	78.4	593.4	0.0	109.8	0.0	0.0	0.0	238.5
Kontor, serv.off	70.4	533.8	0.0	98.8	0.0	0.0	0.0	205.5
Kontor, serv.pr.	70.0	532.7	0.0	98.8	0.0	0.0	0.0	168.0
Fremst.virks.of	45.9	350.4	0.0	64.7	0.0	0.0	0.0	102.6
Fremst.virks.pr	46.0	331.1	0.0	64.8	0.0	0.0	0.0	113.5
Døgninst,hosp.	94.2	730.0	0.0	132.5	0.0	0.0	0.0	234.0
Sommerhuse	15.4	116.2	0.0	31.2	0.0	0.0	0.0	131.1
Ialt	60.1	432.4	0.0	105.2	0.0	0.0	0.0	195.1

Tabel 3.6. Specifikke NO_x-emissioner i 1988

Hele landet	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Fjernvarme !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Naturgas !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ctr/olie !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ctr/halm !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ctr/fast !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Varmerpumper !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ctr/andet !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ovne/el !
Parcelhuse	160.0	33.2	36.1	50.6	42.1	351.3	49.9	637.7
Tæt/lav bol.	142.8	28.3	33.6	48.0	39.1	309.8	43.9	570.4
Stuehuse	204.1	42.3	45.5	63.4	52.7	435.8	63.0	810.9
Etageboliger of	194.2	111.6	40.6	99.1	151.5	0.0	98.3	794.0
Etageboliger pr	191.8	110.2	40.5	96.5	151.9	419.5	95.3	775.0
Kontor, serv.off	174.3	101.8	36.3	89.4	134.9	379.0	87.1	705.5
Kontor, serv.pr.	174.2	99.7	36.3	88.1	134.8	382.7	87.6	699.8
Fremst.virks.of	111.9	60.8	23.5	45.5	70.5	0.0	54.0	439.7
Fremst.virks.pr	110.6	63.6	23.4	45.5	76.2	199.1	57.4	450.0
Døgninst,hosp.	233.9	133.3	49.0	0.0	180.6	533.3	108.4	889.7
Sommerhuse	38.3	8.0	8.6	0.0	9.9	81.9	11.9	155.8
Ialt	174.4	58.7	38.2	63.7	62.2	360.1	67.3	494.9

Hele landet	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ovne/olie !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ovne/fast !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ovne/ngas !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ovne/andet !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ingen !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ej fastlagt !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Uoplyst !	SPEC.EMISSION. ! NOx g/m2 ! Ialt !
Parcelhuse	36.3	42.4	32.5	80.9	0.0	0.0	0.0	129.8
Tæt/lav bol.	33.2	40.0	28.3	73.5	0.0	0.0	0.0	151.2
Stuehuse	45.6	53.3	41.8	101.4	0.0	0.0	0.0	83.0
Etageboliger of	43.6	50.8	40.7	61.0	0.0	0.0	0.0	130.1
Etageboliger pr	43.6	50.8	40.7	61.0	0.0	0.0	0.0	139.9
Kontor, serv.off	39.1	45.7	36.4	54.9	0.0	0.0	0.0	127.4
Kontor, serv.pr.	38.9	45.6	35.2	54.9	0.0	0.0	0.0	109.1
Fremst.virks.of	25.5	30.0	24.0	36.0	0.0	0.0	0.0	72.0
Fremst.virks.pr	25.5	28.3	18.7	36.0	0.0	0.0	0.0	85.0
Døgninst,hosp.	52.3	62.5	49.8	73.6	0.0	0.0	0.0	145.0
Sommerhuse	8.6	10.0	8.0	19.2	0.0	0.0	0.0	115.1
Ialt	33.4	37.0	35.8	59.0	0.0	0.0	0.0	126.0

Tabel 3.8. Specifikke PAH-emissioner i 1988

Hele landet	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Fjernvarme !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Naturgas !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Ctr/olie !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Ctr/halm !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Ctr/fast !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Varmepumpe !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Ctr/andet !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Ovne/el !
Parcelhuse	0.6 !	13.3 !	14.5 !	3037.1 !	8.4 !	0.7 !	2991.3 !	1.3 !
Tæt/lav bol.	0.6 !	11.3 !	13.4 !	2880.0 !	7.8 !	0.6 !	2635.8 !	1.2 !
Stuehuse	0.8 !	16.9 !	18.2 !	3802.6 !	10.5 !	0.9 !	3780.6 !	1.7 !
Etageboliger of	0.8 !	0.1 !	0.2 !	152.5 !	0.8 !	0.0 !	151.2 !	1.7 !
Etageboliger pr	0.8 !	0.1 !	0.2 !	148.4 !	0.8 !	0.9 !	146.6 !	1.6 !
Kontor, serv.off	0.7 !	0.1 !	0.1 !	137.5 !	0.7 !	0.8 !	134.0 !	1.5 !
Kontor, serv.pr.	0.7 !	0.1 !	0.1 !	135.6 !	0.7 !	0.8 !	134.7 !	1.5 !
Fremst.virks.of	0.5 !	0.1 !	0.1 !	70.0 !	0.4 !	0.0 !	83.1 !	0.9 !
Fremst.virks.pr	0.4 !	0.1 !	0.1 !	70.0 !	0.4 !	0.4 !	88.4 !	0.9 !
Døgninst,hosp.	0.9 !	0.2 !	0.2 !	0.0 !	0.9 !	1.1 !	166.7 !	1.9 !
Sommerhuse	0.2 !	3.2 !	3.4 !	0.0 !	2.0 !	0.2 !	714.7 !	0.3 !
Ialt	0.7 !	8.4 !	9.8 !	3580.8 !	8.0 !	0.8 !	1829.9 !	1.0 !

Hele landet	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Ovne/olie !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Ovne/fast !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Ovne/andet !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Ingen !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Ej fastlagt !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Uoplyst !	SPEC.EMISS. ! PAH mg/m2 ! Ialt !
Parcelhuse	14.5 !	17.0 !	50546.6 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	134.9 !
Tæt/lav bol.	13.3 !	16.0 !	45906.3 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	279.6 !
Stuehuse	18.2 !	21.3 !	63403.4 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	363.7 !
Etageboliger of	17.4 !	20.3 !	24.4 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	7.0 !
Etageboliger pr	17.4 !	20.3 !	24.4 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	3.4 !
Kontor, serv.off	15.6 !	18.3 !	22.0 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	1.8 !
Kontor, serv.pr.	15.6 !	18.2 !	22.0 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	2.4 !
Fremst.virks.of	10.2 !	12.0 !	14.4 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	3.0 !
Fremst.virks.pr	10.2 !	11.3 !	14.4 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	4.5 !
Døgninst,hosp.	20.9 !	25.0 !	29.5 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	2.1 !
Sommerhuse	3.4 !	4.0 !	11982.2 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	364.0 !
Ialt	13.4 !	14.8 !	3853.9 !	0.0 !	0.0 !	0.0 !	107.9 !

Af tabel 3.6 fremgår, at den gennemsnitlige NO_x -emission pr. m^2 i boligmassen er ca. $126 \text{ g NO}_x/\text{m}^2$. Markant over dette gennemsnit ligger opvarmningsteknologierne direkte elvarme og varmepumper. De relativt lave specifikke NO_x -emissioner optræder i forbindelse med opvarmning i ovne, hvor brændslet er gasolie, naturgas eller fast brændsel, samt for olie-fyrede centralvarmeanlæg.

De specifikke CO_2 -emissioner, tabel 3.7, er i snit for boligmassen beregnet til ca. $59 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$ i 1988. Boliger opvarmet med elovne har i gennemsnit de største emissioner, og de laveste CO_2 -emissioner er knyttet til opvarmning med naturgas, hvor også kulstofbestanddelen i brændslet er lavest, og effektiviteten for anlæggene er høj.

Tabel 3.8 over specifikke PAH-emissioner viser, at kilderne primært er opvarmningsformer, hvor brændslet er træ eller halm.

Et gennemgående træk er således, at de elbaserede opvarmningsformer ligger på et relativt højt emissionsniveau i 1988, bortset fra PAH-emissioner. Desuden ses det, at fjernvarme - især for SO_2 - er tilskrevet relativt høje værdier, men også NO_x ligger højt.

Opvarmning med naturgas ligger under gennemsnittet for emissionskomponenterne betragtet her. Naturgassen medfører praktisk taget ingen SO_2 -emission og har desuden den laveste specifikke CO_2 -emission blandt opvarmningsteknologierne.

4. ANALYSE PÅ STANDARDBOLIGER

I opgørelsesdelen af denne rapport (kapitel 3) er emissionerne for de overordnede bygningskategorier i BBR, opdelt efter opvarmningsform, belyst på aggregeret niveau.

I dette afsnit ses på udvalgte enkeltboligers emissioner. Emissionerne er her set i sammenhæng med de samlede omkostninger forbundet med opvarmning af den enkelte bolig. Omkostningsforholdene er beregnet på samfundsøkonomisk grundlag.

Der er udført detaljerede beregninger for karakteristiske enfamiliehuse i boligmassen. Der er fokuseret på boliger med isoleringsmæssig standard svarende til BR-72, BR-61 og den fremherskende byggetradition omkring år 1900.

Repræsentanter for disse boligtyper er defineret nøje angående energibehov og opvarmningssystem, så det er muligt at udføre detaljerede energi-, emissions- og økonomiberegninger. Disse boliger kaldes i det følgende for standardboliger og udgør referencesituationer for de videre beregninger. En særlig detaljeret analyse er udført for el-opvarmede standardboliger og for standardboliger, hvori opvarmningssystemet er oliefyr.

Med udgangspunkt i standardboligerne opstilles en række isoleringsmæssige alternativer, hvis reduktion i boligens energiforbrug omregnes til en tilsvarende reduktion af emissionerne. Alternativer kan foruden isolering også bestå i skift af varmesystem og brændsel samt installation af styringsautomatik.

Analyser af de enkelte alternativer og differensanalyser, referencer og alternativer imellem, er udført med vægten lagt på emissions-, energi- og omkostningsforhold. Beregningerne er udført med MISA-modellen.

I det følgende afsnit 4.1 omtales først i korthed MISA-modellen og den anvendte beregningsmetode.

Modelberegningernes mere generelle forudsætninger beskrives herefter i afsnit 4.2.

Afsnittene 4.3 og 4.4 beskriver henholdsvis beregningsforudsætninger og beregningsresultater for udvalgte velkendte opvarmningsteknologier.

Data for rækken af efterisoleringsalternativer er beskrevet i afsnit 4.5. Modelberegninger for efterisolering af henholdsvis elopvarmede og oliefyrede standardboliger er rapporteret i afsnit 4.6.

4.1. MISA-modellen

De senere præsenterede beregninger er udført med en spreadsheet-baseret model kaldet MISA-modellen (MiljøInvesterings ScenarieAnalyse).

Det er formålet med modellen at kunne tilvejebringe grundlag for vurdering af muligheder for reduktion af de miljøbelastninger, der er forbundet med brændselsforbrug til boligopvarmning, eksempelvis ved efterisolering af boligmassen.

Modellen rummer en beregningsstruktur for analyse af emissions-, energi- og økonomiske forhold på enkeltboligniveau

og for udsnit af boligmassen. Ud fra specifikke forhold på enkeltboligniveau opbygges scenarier for udsnit af boligmassen. Modellen kan udføre beregninger for, og give overblik over, et større antal alternativer på enkeltboligniveau og scenarier for udsnit af boligmassen.

I det følgende beskrives først metoden, der ligger til grund for den opbyggede modelstruktur, og herefter beskrives i korthed modellens inddata og resultatside.

Metode

Det følgende beskriver en metode til at bestemme sammenhænge imellem emissionsreduktionseffekter og miljøbetingede investeringer på enkeltbyggningsniveau samt for større udsnit af varmesektoren. Det er målet at kunne identificere de emissionsreducerende virkemidler, der hensigtsmæssigt kan realisere emissionsreduktionsmål og desuden yder de største emissionsreducerende effekter for en given omkostning.

Boligmassen består af en mangfoldighed af boligudformninger med forskellig isoleringsmæssig standard. Opvarmningsformerne er derimod koncentreret om relativt få teknologier, hvor dog systemernes effektiviteter m.v. kan variere betydeligt.

Ud fra kendskab til bygningssammensætningen i boligmassen defineres et antal boliger (standardboliger), som kan være repræsentative for udsnit af boligmassen.

Isoleringstilstanden og det anvendte opvarmningssystem fastlægges i denne udvælgelse.

Efterisoleringmuligheder for standardboligerne kan fastlæg-

ges nøje angående arten af efterisolering og de hermed forbundne investeringer m.v. Tilsvarende vil nettoenergibesparelsen kunne beregnes baseret på antagelser om komfortniveau eller baseret på krav om konsistens med kendte energiforbrug.

På dette konkrete grundlag beregnes brændselsforbrug og emissioner, samt totale meromkostninger for et udvalg af efterisoleringsalternativer.

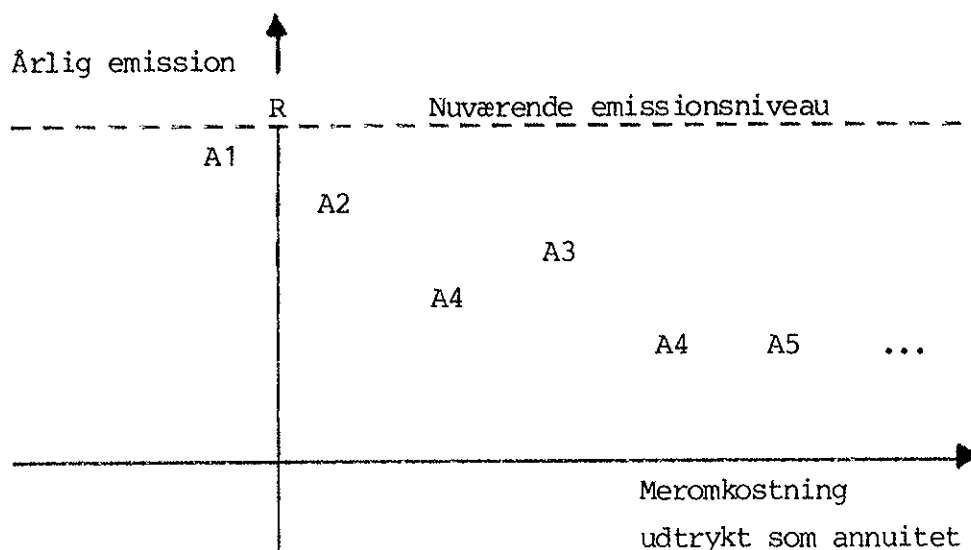
På standardboligniveau haves hermed sammenhørende værdier for emissionsreduktionsmuligheder og de dermed forbundne meromkostninger.

For at skabe forbindelse mellem de specifikke resultater og boligmassen, skal potentialer for standardboligerne estimeres. Potentialerne udtrykker, hvor store dele af boligmassen, der er tilnærmelsesvis i samme tilstand som de definerede standardboliger.

Jo flere referencesituationer, der opstilles, jo større er den del af boligmassen, der vil kunne være repræsenteret i analyserne, eller jo tættere kan beskrivelsen blive på virkeligheden.

Et overblik over beregningsresultater på standardboligniveau kan gives grafisk i plot, som vist kvalitativt på figur 4.1, hvor årlige emissioner og meromkostninger sammenstilles.

Af det viste kvalitative plot, hvor hver punkt angiver et alternativ, ses umiddelbart absolutte og relative effekter for de opstillede alternativer.



Figur 4.1. Emissionsreduktion som funktion af meromkostning.
R markerer referencesituationen.
Øvrige punkter angiver alternativer.

Forskellige emissionskomponenter/emissionsmål vil for given omkostning omplacere de opstillede alternativer langs y-aksen.

Det bemærkes, at det ikke umiddelbart vil være tilladt at interpolere imellem alternativer, idet disse er på standardboligniveau.

Tilsvarende plot kan dannes for opskalerede estimater for dele af boligmassen ud fra potentialer. Hvert punkt repræsenterer da et scenarie for boligmassen.

De opstillede scenarier vil tage udgangspunkt i de enkeltalternativer på standardboligniveau, der udviser de mest positive specifikke miljøeffekter i et givet meromkostningsinterval.

I modsætning til, hvad der gælder på standardboligniveau, kan der for de estimerede scenarier i et vist omfang tillades interpolation scenariepunkterne imellem.

På forhånd kan man forvente, at den maksimale emissionsreducerende effekt pr. investeret kr. vil være faldende for voksende samlet investering i boligmassen.

Af figurer som denne fremgår med udgangspunkt i en given emissionskomponent eller given vægtet kombination af emissionskomponenter bl.a.:

- omkostnings- eller investeringsbehovet for at nå en given emissionsreduktion,
- den forventede mulige emissionsreduktion for en given meromkostning eller investering,
- emissionseffekt og omkostninger ved tiltag inden for et givet specifikt beløb pr. reduceret mængde.

Ønskes en given emissionsreduktion på landsplan, vil man principielt af figurer som disse kunne pege på det forventede investeringsbehov og løbende omkostningsniveau. Yderligere vil man have beskrevet de landsscenarier, der vil kunne realisere dette mål.

Antallet af boliger inden for hvert af et landsscenaries underliggende standardboligtyper vil være beskrevet, og for den enkelte standardbolig vil scenarierne være beskrevet på veldefinerede virkemidler.

Ved den beskrevne metode opnås, som nævnt, at omkostnings- og emissionsberegninger kan udføres på meget veldefineret

grundlag. Der kan inddrages detaljerede statistiske informationer om boligmassen til definition af standardboliger og til fastlæggelse af de tilhørende potentialer, der danner bindeled til estimer for større udsnit af boligmassen.

For udvalgte boliger med givet opvarmningssystem er der for en række kendte efterisoleringsmuligheder beregnet specifikke tal, der kan

- give et overblik over de enkelte efterisoleringsformers emissionsreduktionseffekt og omkostningsforhold, og
- udgøre et basissæt af emissionsreduktions- og omkostningskoefficienter, der kan danne grundlag for opskalede estimer for større udsnit af boligmassen.

Tabeloversigter af denne karakter er givet i afsnit 4.6.

Model

Modellen er udformet som et samspil imellem regneark, databaser, grafik og outputformater.

Modellen er et PC-værktøj til at udføre scenarieanalyser for et givet antal standardboliger. Beregningerne kan afvikles som

- enkeltanalyser på standardboliger, eller som
- differensanalyser, referencer og alternativer imellem.

Modellens beregningsdel indeholder strukturer for beregning af

- nettoenergiforbrug
- bruttoenergiforbrug
- emissioner
- økonomi.

Økonomidelen af modellen beregner nuværdier og annuiteter på samfundsøkonomisk grundlag.

Strukturen i den opbyggede model tillader inddragelse af potentialeopgørelser for boligmassen til opskalering af specifikke resultater fra differensberegninger på standard-boligniveau til vurderinger for udsnit af boligmassen.

Data til modellen:

Specifikke data for referencer og alternativer

Nettoenergi

- Boligarealer
- Nettoenergiforbrug for rumvarme, brugsvand m.v.
- Sammenhørende værdier for nettoenergibesparelser, investeringer m.v. og eventuelle energiforbrug i relation til nettoenergibesparelser.

Bruttoenergi

Tekniske og økonomiske data for opvarmningsteknologier

- effektiviteter, dækningsgrader, brændselstyper
- investeringsrækker, levetider m.v.
- drift og vedligehold.

Potentialer

- Potentialer for referencer
- Potentialer for alternativer.

Generelle data

- Emissionsfaktorer
- Brændselsprisprognoser
- Kalkulationsrente og beregningsperiode
- Vægtfaktorer for evt. sammensatte emissionsmål m.v.

Modellen beregner:

For referencer, alternativer og differencer

- Nettoenergiforbrug
- Brændselsforbrug
- Emissioner
- Nuværdier og annuiteter for
 - Brændselsudgifter
 - Drift og vedligehold
 - Investeringer
 - Totale omkostninger
- Udvalgte nøgletal,
eksempelvis reduktionsprocenter og enhedspriser for
nettoenergibesparelser og emissionsreduktioner.

Resultater overføres fra modellens hovedberegningsdel til databaser for videre behandling.

Herfra udskrives bl.a.

- Oversigtstabeller for data og resultater
- Data til grafik.

Modellens struktur er udlagt med mulighed for at betragte vægtede kombinationer af emittender evt. under inddragelse af skyggepriser.

4.2. Generelle beregningsforudsætninger

Økonomiske forudsætninger

De udførte økonomiske beregninger af nuværdier og annuiteter er baseret på en 7% p.a. kalkulationsrente.

Der er generelt i denne rapport regnet i faste 1988-priser. Investeringer, brændselspriser m.v. er udtrykt i 1988-prisniveau, og alle priser er ekskl. moms og afgifter.

Beregningsperioden er sat til 20 år, 1989-2008 inkl. Investeringer med levetider, der rækker ud over beregningsperioden, er modregnet restværdier i slutåret. Disse er beregnet under antagelse af lineær nedskrivning af kapitalværdier over de respektive levetider (lineær restværdiberegning).

SAMFUNDSØKONOMISKE BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER :	
Kalkulationsrente	.07 p.a. real rente
Beregningsperiode	20 år
Prisniveau	1988 år
Basisår	1988 år
FINANSIERINGSSIDEN IKKE INDDRAGET	
Kapitalopdelingsfaktor	.0944 p.a.
Nuværdifaktor	10.59

Brændselsprisprognoser

Til grund for de senere præsenterede beregninger af brændselsomkostninger ligger følgende brændselspriser for perioden 1989-2008. Der ses her alene på el- og gasolie-baserede opvarmningsteknologier i boligerne.

De anvendte brændselsprisfremskrivninger er de samme som anvendt i forbindelse med SN88 (Ref. 9).

Tabel 4.1.

BRÆNDELSPRISER FOR INDIVIDUEL OPVARMNING :
SAMFUNDSØKONOMI REALPRISER
 PRISNIVEAU DATA : 1988
 PRISNIVEAU MISA : 1988
 BASISÅR MISA : 1988
 BEMÆRKNINGER : CENTRALE PROGNOSE FRA EM,ES .

	GASOLIE KR/GJ	EL *) KR/KWH	EL **) KR/GJ
1988	36.90	.3126	86.82
1989	37.20	.3219	89.43
1990	38.50	.3324	92.33
1991	39.80	.3417	94.92
1992	41.20	.3521	97.81
1993	42.60	.3604	100.12
1994	43.60	.3708	102.99
1995	44.60	.3801	105.59
1996	45.60	.3894	108.18
1997	46.60	.3988	110.79
1998	47.60	.4041	112.25
1999	48.60	.4094	113.72
2000	49.70	.4147	115.19
2001	50.80	.4199	116.65
2002	51.80	.4253	118.15
2003	52.80	.4306	119.60
2004	53.80	.4356	121.00
2005	54.80	.4421	122.81
2006	55.90	.4475	124.31
2007	57.00	.4528	125.77
2008	58.10	.4581	127.24

NUVÆRDI PR. ENHED : 520.85 4.38 1216.25
 ANNUITETSMIDLET : 49.16 .41 114.81
 FORHOLD SLUT/BASIS : 1.54 1.45 1.45
 MIDLET STIGNINGSTAKT .02 .02 .02

BEREGNINGSPERIODE : 20
 KALKULATIONSRENTEN : .07

TRANSPORTKOSTNINGER AN. FORBRUGER INKLUDERET .

ELNETTETS EFFEKTIVITET ER SAT TIL : .90

DATAKILDE : "NOTAT OM ENERGIPRISER", ENERGISTYRELSEN , 1988.

CENTRALE PROGNOSE

*) ELEKTRICITET FRA DECENTRALE KRAFTVARMEVÆRKER.

MIDDELVÆRDI AF PRISER GÆLDENDE FOR ELSAN- OG ELKRAFTOMRÅDET

**) DIREKTE OMREGNING FRA KWH-PRISER

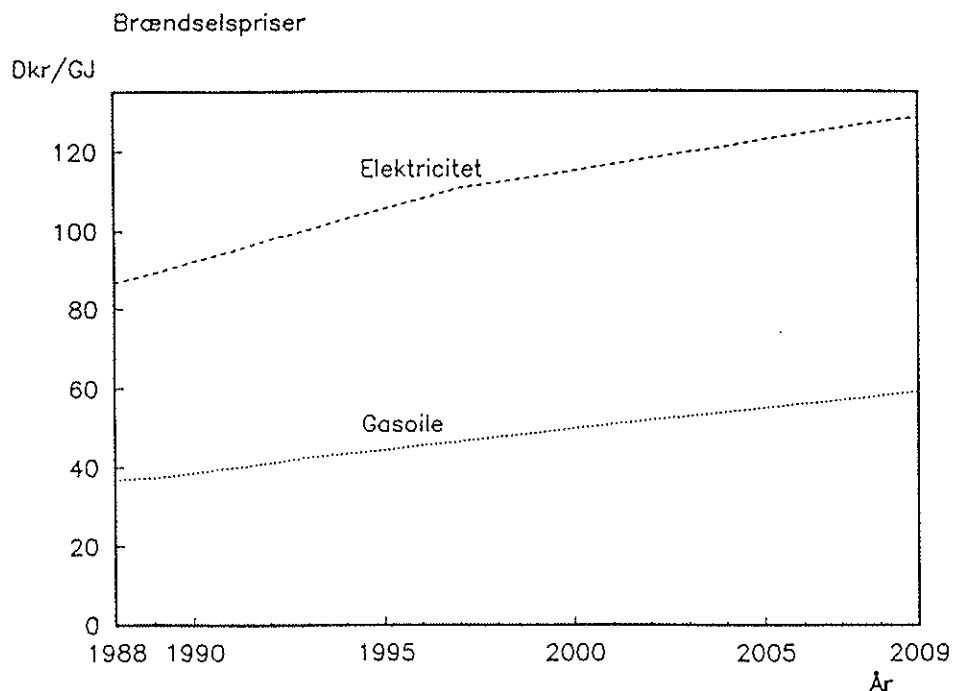


Fig. 4.2. Brændselspriser an forbruger

Emissionsfaktorer for gasolie og el til individuel opvarmning

Den emitterede mængde af et givet forbrændingsprodukt pr. indfyret energienhed brændsel kaldes en emissionsfaktor. Emissionsfaktorer afhænger af brændselstypen og den anvendte forbrændingsteknologi.

Der er til grund for de senere beregninger brug for emissionsfaktorer, der afspejler opvarmningsteknologiernes emissioner over perioden 1989–2008, under fastholdt årlig brændselsforbrug.

De anvendte periodemidlede emissionsfaktorer for perioden 1989–2008 for SO_2 og NO_x , CO_2 og PAH i forbindelse med olie-fyring og elforbrug er vist i tabel 4.2.

Tabel 4.2. Emissionsfaktorer

Anlægstype	Brændsel, teknologi	SO ₂ kg/GJ	NO _x kg/GJ	CO ₂ kg/GJ	PAH mg/GJ
Individuelle varmeinst.	Gasolie trad.fyr	.090	.050	74.0	20.0
	Gasolie kond.fyr**)	.086	.050	74.0	20.0
EL an forb.	D.elvarme og VP *)	1.05	.769	295.0	3.

*) Anvendte emissionsfaktorer for elforbrug over beregningsperioden

Emissionsfaktorerne for SO₂ og NO_x er beregnede middeltal for perioden. Middeltallene er beregnet under forudsætning af konstante årlige elforbrug. Beregningerne er foretaget på grundlag af Energiministeriets prognose for elbehovet samt de maksimalt tilladte emissionsmængder for SO₂ og NO_x gennem perioden. I emissionsfaktorerne, der gælder AN forbruger, indgår en elnetseffektivitet på 90 %.

Emissionsfaktoren for CO₂ er den realiserede værdi i elsystemet for 1987. For CO₂ og PAH indgår ingen antagelser om ændringer i elsystemets effektivitet, brændselssammensætning m.v. over perioden.

**) Emissionsfaktorer for oliefyring med kondenserende kedel.

Kun SO₃, der udgør ca. 4 % af SO_x i røggasserne, forventes optaget og neutraliseret i kedlen.

Emissionsfaktorerne for oliefyr antages at være konstante over beregningsperioden. Emissionsfaktorerne afspejler miljølovgivningens maksimalgrænse for svovlindholdet i gasolie til oliefyring på 0,2%.

Emissionsfaktorerne for traditionel oliefyring er de samme, som anvendes i forbindelse med Energiministeriets Statusnotat 1988.

Kondenserende oliefyr antages at emitte de samme mængder af NO_x , PAH og CO_2 pr. GJ indfyret brændsel som traditionelle oliefyr. Emissionsfaktoren for SO_2 er reduceret med 4% i forhold til emissionsfaktoren for traditionelle oliefyr, fordi det antages, at SO_3 -fraktionen af SO_x -indholdet tilbageholdes og neutraliseres i kedlens kondensat. Denne reduktion af emissionsfaktoren for SO_2 er således ikke stringent, idet SO_2 antages at inkludere SO_3 . SO_3 udgør ca. 4% af SO_x i røggasserne fra traditionelle oliefyr.

Emissioner knyttet til elforbrug er udtrykt pr. GJ elektricitet an forbruger.

Det er antaget, at el-emissionsfaktorerne for CO_2 og PAH er konstante over perioden. Værdierne er beregnet på basis af opgørelser af de emitterede mængder fra elsektoren i Statusnotat 88, samt en virkningsgrad for eldistributionssystemet på 90%.

Miljølovgivningen for elområdet pålægger elværkerne øvre grænser for emissionerne af SO_2 og NO_x . Over perioden 1987-2005 reduceres elværkernes maksimale emissionskvoter gradvis til ca. 40% af 1987-niveauet. Emissionsfaktorerne for elektricitet an forbruger kan derfor forventes at falde gennem denne periode, hvad SO_2 og NO_x angår.

Gennemsnitsværdierne for SO_2 - og NO_x - emissionsfaktorerne for elektricitet an forbruger er beregnet ud fra elværkernes maksimale emissionskvoter og den forventede elproduktion over perioden 1989-2008. Disse beregninger er vist i detalje i tabel 4.3.

Tabel 4.3. Emissionsfaktor for el

SO2	EL-	SO2 EMISSIONER PR ÅR		SO2 EMISSIONSFAKTORER		
	BEHOV 1)	MAX TILLADT	TIL EL 2)	AB KRAFTVÆRK	AN FORBRUG 3)	
	GWH/ÅR	TON SO2	TON SO2	TON/GWH	KG/GJ(EL)	KG/GJ(EL)
1987	29437	200000	180000	6.11	1.70	1.89
1990	30964	195000	175500	5.67	1.57	1.75
1995	33687	125000	112500	3.34	.93	1.03
2000	36649	110000	99000	2.70	.75	.83
2005	39872	85000	76500	1.92	.53	.59
2010	43379	85000	76500	1.76	.49	.54

MIDLET EMISSIONSFAKTOR AF PERIODEVÆRDIERNE 90, 95, 00 OG 05

KG SO2 / GJ EL : 1.05

NOX	EL-	NOX EMISSIONER PR ÅR		NOX EMISSIONSFAKTORER		
	BEHOV 1)	MAX TILLADT	TIL EL 2)	AB KRAFTVÆRK	AN FORBRUG 3)	
	GWH/ÅR	TON NOX	TON NOX	TON/GWH	KG/GJ(EL)	KG/GJ(EL)
1987	29437	145000	130500	4.43	1.23	1.37
1990	30964	130000	117000	3.78	1.05	1.17
1995	33687	110000	99000	2.94	.82	.91
2000	36649	77000	69300	1.89	.53	.58
2005	39872	60000	54000	1.35	.38	.42
2010	43379	60000	54000	1.24	.35	.38

MIDLET EMISSIONSFAKTOR AF PERIODEVÆRDIERNE 90, 95, 00 OG 05

KG NOX / GJ EL : .77

- 1) FORVENTET STIGNINGSTAKT PR. ÅR : 1.7 % (INCL. IMPORT)
- 2) CA. 10 % AF BRÆNDSLSFORBRUGET KAN TILSKRIVES VARMEPRODUKTION PÅ KRAFTVARMEVÆRKER I DET DANSKE ELSYSTEM. DENNE ANDEL ANTAGES HER FASTHOLDT.
EN TILSVARENDE ANDEL AF DE SAMLEDE SO2 OG NOX EMISSIONER TILSKRIVES VARMEPRODUKTIONEN.
DE RESTERENDE 90 % AF EMISSIONSKVOTERNE TILSKRIVES DEN SAMLEDE FORVENTEDE ELPRODUKTION.
- 3) EMISSIONSFAKTOR FOR EL AN FORBRUGER UDTRYKT I KG/GJ-ELEKTRICITET.
ELNETTETS EFFEKTIVITET ER SAT TIL 90 %.

Til venstre i tabellen er angivet det forventede elbehov (Statusnotat 88) og de fastsatte maksimale emissionskvoter for perioden 1987-2010.

I 1987 var ca. 10% af brændselsforbruget på kraftværkerne koblet til varmeproduktionen, hvilket har været stort set uændret i den seneste 10-års periode.

Det antages her, at denne andel er fastholdt fremover.

Varmeproduktionen på elværkerne tilskrives derfor tilsvarende 10% af de fastsatte emissionskvoter, hvorfor - som det fremgår af tabel 4.3 - emissionsmængderne, knyttet til elproduktionen alene, er sat til 90% af de maksimale kvoter.

Forudsættes yderligere, at el- og varmeproduktionen på kraftværkerne netop medfører de maksimalt tilladte emissioner, fremkommer emissionsfaktorer som vist til højre i tabellen. Det fremgår, at emissionsfaktorerne over perioden reduceres med ca. 70%.

En elopvarmet bolig med konstant årligt elforbrug gennem perioden vil derfor medføre faldende SO_2 - og NO_x -emissioner over perioden i takt med de stillede krav om emissionsbegrænsning ved elproduktion på de centrale kraftværker.

Under antagelse af konstante årlige elforbrug i boligen kan de gennemsnitlige emissionsfaktorer for SO_2 og NO_x gældende for perioden 1989-2008 beregnes som angivet i tabel 4.2.

Emissionskoefficienterne for CO_2 og PAH er koblet til de anvendte brændsler og forbrændingsteknikker m.v. på elværkerne. Maksimale værdier for emissionsfaktorerne for SO_2 og NO_x er i modsætning hertil fastlagt via miljølovgivning og den samlede elproduktion.

Det bemærkes, at hvis elproduktionen er højere end antaget her, vil emissionsfaktorerne for SO₂ og NO_x være lavere på grund af ovenstående.

Sammenlignes emissionsfaktorerne for el med emissionsfaktorerne for traditionelle oliefyr, træder det frem, at SO₂- og NO_x-faktorerne for elektricitet er godt en størrelsesorden højere end de tilsvarende værdier for oliefyr.

CO₂-emissionen pr. GJ er en faktor 4 højere for elektricitet an forbruger, hvorimod PAH-emissionerne er omtrent en størrelsesorden lavere for elektricitet end PAH-emissionsfaktorerne for oliefyr.

4.3. Standardboliger

Som nævnt tidligere er det målet at få belyst emissionsmængder og emissionsreduktionsmuligheder for enfamiliehuse, der kan være repræsentative for større udsnit af boligmassen.

Forudsætningerne for beregning af emissionsmængder og samlede opvarmningsomkostninger for udvalgte boliger og opvarmningssystemer er beskrevet i det følgende.

I nedenstående afsnit beskrives tre udvalgte enfamiliehuse (standardboliger). Beskrivelsen vedrører de forhold, der har betydning for nettoenergibehov og efterisoleringsmuligheder i boligerne.

Der fokuseres på boliger beliggende i Område IV, d.v.s. de dele af landet, der ikke er planlagt for forsyning med rørført energi.

Afsnittet herefter beskriver tekniske og økonomiske data for udvalgte opvarmningsteknologier for individuel opvarmning af standardhusene.

Hver standardbolig er gennemregnet for hver af de opstillede opvarmningsformer. Emissions- og energimæssige konsekvenser samt økonomiske konsekvenser er beregnet.

Resultaterne er givet i afsnit 4.4.

Enfamiliehuse

Som udgangspunkt for estimering af boligmassens isoleringstilstand, der er en forudsætning for at vurdere efterisoleringsmulighederne, kan de i perioden siden 1961 gældende bygningsreglementer give et billede af boligernes isoleringstilstand i opført skikkelse. For den del af boligmassen, der er opført før 1961, hvor der ikke blev stillet mindstekrav til boligernes isolering, er det vanskeligt at sige noget generelt om bygningernes oprindelige og nuværende isoleringstilstand.

Over halvdelen af boligmassen har i forbindelse med varmesynslovens tilskudsordning (juni 1981-dec. 1984, ref. 2) fået tilskud til energibesparende foranstaltninger og knapt halvdelen af boligmassen har fået foretaget varmesyn. I tilknytning til støtteordningerne er der i EK-sekretariatet registreret viden om varmesynsrapporternes forslag til efterisolering, men der vides meget lidt om den efterisolering af boligmassen, der er udført i eller udenfor støtteordningerne.

Det er derfor uvist hvor mange boliger, der stadig står i oprindelig tilstand, og der er kun begrænset viden om, hvor-

dan isoleringstilstanden er i boliger, der har fået udført efterisoleringsarbejder.

De udvalgte standardboliger er af denne grund primært baseret på periodeopdelte BBR-tal for antallet af opførte boliger (Bilag 2) og bygningsreglementer (Bilag 3). Kun boliger opført før 1979 har været taget i betragtning.

Der ses her på tre typiske konstruktioner af enfamiliehuse:

- 1) 1-plans parcelhus, opført 1975, der opfylder de isoleringsmæssige krav i BR-72,
- 2) 1-plans parcelhus, opført 1962, der opfylder de isoleringsmæssige krav i BR-61, samt
- 3) 1,5 plans enfamiliehus, opført omkring år 1900, der afspejler de isoleringsmæssige forhold for typiske bygningskonstruktioner fra denne periode.

Disse standardboliger er valgt dels, fordi de er karakteristiske for betydelige udsnit af boligmassen (se Bilag 2), og desuden fordi tilsvarende boligtyper er behandlet i Forsyningskataloget 88.

Standardboligernes isoleringstilstand defineres i det følgende for opført tilstand. På k-værdi niveau er dette muligt for BR-72 boliger og BR-61 boliger. Det antages her, at boligerne på opførelsestidspunktet netop opfylder bygningsreglementets krav til isoleringstilstanden. Det kan forventes, at kun en mindre del af boligmassen er opført med væsentligt højere isoleringsniveau, end hvad det gældende bygningsreglement forskriver som minimum. Boliger fra århundredeskiftet er defineret skønsmæssigt på basis af den typiske byggetradition i perioden (se Bilag 3).

I tabellerne 4.4, 4.5 og 4.6 er standardboligerne karakteriseret. Boligernes yderflader er beskrevet ved konstruktionstypen, k-værdier for disse samt fladearealer.

Tabel 4.4. Standard parcelhus, opført 1975

Reference

Betegnelse	: P75
Opførselsår	: 1975
Gældende bygningsregl.	: Bygningsreglement 1972
Gulvtype	: Terrændæk, træbjælkelag på beton med 3 cm isol.
Gulvareal [m ²]	: 120
Max. k-værdi	: .45
Vinduestype	: 2 lag glas, 6 mm glasafstand.
% vinduer af gulvareal	: 17.50
Areal af vinduer	: 21
Max. k-værdi	: 3.60
Ydervægtype	: 30 cm uisoleret hulmur, med let bagmur.
Bredde af ydervæg [m]	: 9.21
Længde af ydervæg [m]	: 13.03
Areal af Ydervæg [m ²]	: 111.19
Max. k-værdi	: 1.00
Loftstype	: Gitterspærfag med 8 cm isolering.
Loftsareal	: 120
Max. k-værdi	: .45
Brutto etagehøjde [m]	: 2.50
Opvarmningsform	:
Brændsel	:
Stat. enhedsf. [GJ/m ²]	: .50

Tabel 4.5. Standard parcelhus, opført 1962

Reference

Betegnelse	: P 62
Opførselsår	: 1962
Gældende bygningsregl.	: BR-61
Gulvtype	: Uisoleret krybekælder
Gulvareal [m ²]	: 120
Max. k-værdi	: 0,5
Vinduestype	: 2 lag glas.
% vinduer af gulvareal	: 17.50
Areal af vinduer	: 21
Max. k-værdi	: 3,6
Ydervægtype	: 30 cm uisoleret hulmur.
Bredde af ydervæg [m]	: 9.21
Længde af ydervæg [m]	: 13.03
Areal af Ydervæg [m ²]	: 111.19
Max. k-værdi	: 0,85
Loftstype	: Gitterspærfaag med 8 cm isolering.
Loftsareal	: 120
Max. k-værdi	: 0,45
Brutto etagehøjde [m]	: 2.50
Opvarmningsform	:
Brændsel	:
Stat. enhedsf. [GJ/m ²]	: .80
Årsforbrug [GJ]	: 96

Tabel 4.6. Standard parcelhus, opført 1900

Da der ikke fandtes egentlige bygningsreglementer
på daværende tidspunkt er der ikke angivet Max. k-værdier.

Reference

Betegnelse	: P 00
Opførselsår	: 1900
Gældende bygningsregl.	:
Gulvtype	: Uisoleret træbjælkelag med indskud mod delvis opvarmet kælder.
Gulvareal [m ²]	: 120 - fordelt på 1.5 etage med hhv. 80 og 40 m ²
Max. k-værdi	: ?
Vinduestype	: 2 lag glas.
% vinduer af gulvareal	: 17.50
Areal af vinduer	: 21
Max. k-værdi	: 3,6
Ydervægtype	: 36 cm massiv mur, uisoleret.
Bredde af ydervæg [m]	: 7.52
Længde af ydervæg [m]	: 10.64
Areal af Ydervæg [m ²]	: 136.18 , ved 1.5 etage som nævnt ovenfor.
Max. k-værdi	: ?
Loftstype	: Hanebåndsloft med indskud.
Loftsareal	: 80 , incl. skunkvægge, ca. svarende til grundarealet.
Max. k-værdi	: ?
Brutto etagehøjde [m]	: 2.50
Opvarmningsform	:
Brændsel	:
Stat. enhedsf. [GJ/m ²]	: 1.80
Årsforbrug [GJ]	: 216

De specifikke nettoenergiforbrug (Stat.enhedsf. $[GJ/m^2]$) er hentet fra Forsyningskataloget 88. Nettoenergiforbrugene er typiske enhedsforbrug for den pågældende bygningskategori. Enhedsforbrugene antages at være rimeligt konsistente med de opnåelige nettoenergibesparelser beskrevet i afsnit 4.5.

Enhedsforbrugene forudsætter fastholdt komfortniveau i boligerne.

Opvarmningssystemer

Hver standardbolig analyseres i kombination med hver af følgende opvarmningsformer:

- oliefyr (traditionelle- og kondenserende anlæg)
- direkte elvarme
- varmepumpe luft/vand (L/V)
- supplerende solvarmeanlæg til varmt brugsvand, hvor hovedopvarmningssystemet enten er direkte elvarme eller traditionel oliefyring.

Da boligernes specifikke nettoenergibehov er forskellige, er den nødvendige installerede effekt i opvarmningssystemet forskellig for de tre standardboliger.

Investeringer i eksempelvis varmefordelingssystemer og kedler stiger med voksende effektbehov, mens investeringerne til eksempelvis varmtvandsbeholdere og skorstene er uafhængige af effektbehovet til rumopvarmning.

I de efterfølgende tabeller er data kun angivet for boligerne, kaldet "BR-61" og "År 1900", hvis tallene afviger fra de tilsvarende for "BR-72"-standardboligen.

Priser og levetider er baseret på Forsyningskataloget 88. Alle priser er ekskl. moms og udtrykt i 1988-priser.

Data for opvarmningsteknologier

1988 prisniveau	Standardbolig		
	År 1900	BR-61	BR-72
Installeret effekt	28	12	7 kW
Varmt brugsvand (3000 kWh/år)			10,8 GJ/år

OLIEFYR, TRADITIONELT

Effektivitet 77%

Investeringer:

Kedelunit
 inkl. varmtvandsbeholder 18000 15000 15000 kr.
 levetid 25 år

Olietank 5500 kr.
 levetid 25 år

Skorsten (stål) 6000 kr.
 levetid 20 år

Reinvestering:

Brænder (efter 13 år) 4500 kr.
 levetid 13 år

Vedligehold pr. år 1400 kr.

1988 Prisniveau	Standardbolig		
	År 1900	BR-61	BR-72
Installeret effekt	28	12	7 kW

OLIEFYR KONDENSERENDE KEDEL

Effektivitet 100%

Investeringer:

Kedelunit

inkl. varmtvandsbeholder	26000	23000	23000 kr.
levetid			20 år

Olietank		5500 kr.
levetid		25 år

Skorsten (stål)		6000 kr.
levetid		20 år

Reinvestering:

Brænder (efter 13 år)		4500 kr.
levetid		13 år

<u>Vedligehold pr. år</u>		1400 kr.
---------------------------	--	----------

1988 Prisniveau	Standardbolig		
	År 1900	BR-61	BR-72
Installeret effekt	28	12	7 kW

DIREKTE ELVARME

Effektivitet 100%

Investeringer:

Elradiatorer 26000 15000 kr.
 levetid 25 år

Elvandvarmer 7000 kr.
 levetid 11 år

Reinvestering:

Elvandvarmer (efter 11 år) 7000 kr.
 levetid 11 år

Vedligehold pr. år 250 kr.

1988 Prisniveau	Standardbolig		
	År 1900	BR-61	BR-72
Installeret effekt	28	12	7 kW

VARMEPUMPE LUFT/VAND

Dækningsgrad	90%
Effektfaktor	2,35
Suppl. elvarme	10%
Effektivitet	100%

Investeringer:

Varmepumpeunit			
inkl. varmtvandsbeholder	84500	53000	48200 kr.
levetid			20 år

Reinvesteringer:

Kompressor (efter 12 år)	12700	10600	7230 kr.
levetid			12 år

<u>Vedligehold pr. år</u>			700 kr.
---------------------------	--	--	---------

1988 Priseniveau	Standardbolig		
	År 1900	BR-61	BR-72
Installeret effekt	28	12	7 kW

5 m² SOLFANGER TIL VARMT BRUGSVAND

Nettoydelse	7,15 GJ/år
Sparet tomgangstab i kombination med	
Elvarme	0 GJ/år
Oliefyr	3,60 GJ/år

Investeringer:

5 m ² solvarmeanlæg	22000 kr.
levetid	20 år
<u>Vedligehold pr. år</u>	180 kr.
El til cirkulationspumpe	0,29 GJ/år

VARMEFORDELINGSSYSTEM (vandbaseret)

Effektivitet	92%
Investering	40000 30000 25000 kr.
levetid	40 år

Arealomkostninger i forbindelse med placering af opvarmnings-systemerne er udeladt.

Tabel 4.8. Specifikke energiforbrug, omkostninger og emissioner for BR-61 bolig

Standardbolig BR-61	Netto- energi- behov GJ/m ² /år	Brandsels- forbrug GJ/m ² /år	Brandsels- udgifter kr./m ² /år	Invest. ialt kr./m ² /år	Vedlige- hold kr./m ² /år	Totale omkost- ninger kr./m ² /år	Emissioner			
							SO ₂	NO _x	PAH	CO ₂
							kg/m ² /år	kg/m ² /år	mg/m ² /år	kg/m ² /år
Direkte elvarme	0,8	0,8	85,3	28,4	2,1	115,8	0,84	0,61	2,2	236
Oliefyr trad.	0,8	1,135	52,2	43,3	11,7	107,2	0,11	0,061	22,6	85
Oliefyr kond.	0,8	0,870	39,7	49,6	11,7	101,0	0,081	0,048	17,4	64
Varmpumpe L/V	0,8	0,413	44,0	66,3	5,8	116,1	0,43	0,32	1,1	122
Direkte elvarme + 5 m ² solfanger	0,8	0,743	79,2	45,7	3,5	128,5	0,78	0,57	2,1	219
Oliefyr trad. + 5 m ² solfanger	0,8	1,011	46,7	60,6	13,1	120,4	0,099	0,057	20,1	77

Tabel 4.9. Specifikke energiforbrug, omkostninger og emissioner for "1900" standardbolig

Standardbolig 1900-Niveau	Netto- energi- behov	Brændsels- forbrug	Brændsels- udgifter	Invest. ialt	Vedlige- hold	Totale omkost- ninger	Emissioner			
							SO ₂	NO _x	PAH	CO ₂
							kg/m ² /år	kg/m ² /år	mg/m ² /år	kg/m ² /år
	GJ/m ² /år	GJ/m ² /år	kr./m ² /år	kr./m ² /år	kr./m ² /år	kr./m ² /år	kg/m ² /år	kg/m ² /år	mg/m ² /år	kg/m ² /år
Oliefyr trad.	1,8	2,55	116,7	48,2	11,7	176	0,235	0,132	50,8	190
Oliefyr kond.	1,8	1,96	90,0	54,5	11,7	156	0,175	0,102	39,1	147
Varmpumpe L/V	1,8	0,951	101,4	106,0	5,8	213	1,000	0,731	2,6	281
Oliefyr trad. + 5 m ² solfanger	1,8	2,42	111,2	65,5	13,1	190	0,226	0,127	48,3	181

Beregnete omkostninger omfatter investeringer, forventede reinvesteringer, udgifter til drift og vedligehold samt brændselsomkostninger. Omkostningerne afspejler de totale årlige omkostninger forbundet med opvarmning af standardboligerne.

Det fremgår af tabellerne, at de gennemsnitlige årlige emissioner af SO_2 , NO_x og CO_2 for elvarmeteknologierne ligger betydeligt højere end gasoliebaseret opvarmning. Det omvendte er tilfældet for de specifikke PAH-emissioner.

Fokuseres alene på SO_2 -emissioner, fremgår det af tabellerne, at de laveste emissioner forbundet med opvarmning i boligerne opnås med oliefyring i kondenserende kedler. Kondenserende kedler er tilskrevet årseffektiviteten 1, og traditionelle oliefyrs årseffektivitet er sat til 0,77. Merinvesteringen for kondenserende kedler i forhold til traditionelle kedler er sat til 8000 kr. Gennemgående er de specifikke totalomkostninger lavere for kondenserende oliefyr end for traditionelle oliefyr. Det skal hertil bemærkes, at driftserfaringerne med kondenserende kedler er få, hvorfor især levetider kan være usikre.

Direkte elvarme er den billigste opvarmningform for BR-72 boligen, men har desuden den største gennemsnitlige SO_2 -emissioner over beregningsperioden.

Varmepumpen, der har supplerende elvarme, er noget dyrere end direkte elvarme for BR-72 boligen, men er økonomisk ligestillet (break-even) med direkte elvarme for BR-61 boligen, hvis specifikke nettoenergibehov er højere. SO_2 -emissionerne for varmepumpen i forhold til direkte elvarme er omtrent det halve, hvilket afspejler varmepumpens højere virkningsgrad.

Solvarmeanlæg til varmt brugsvand i kombination med olie-fyring medfører et reduceret skorstenstab for oliefyr, der kan tillægges varmeproduktionen fra solfangerne. Denne fordel opvejes dog af den højere pris pr. GJ for elektricitet end for gasolien, så solvarmeanlægget i kombination med direkte elvarme vil have næsten samme rentabilitet som solvarmeanlægget kombineret med oliefyring. Den marginale SO_2 -emissionsreduktion for solvarme i kombination med elvarme, der substituerer elektricitet, er imidlertid omkring en faktor 7 større end for solvarme i kombination med olie-fyring.

Opvarmning af et 120 m^2 BR-72 enfamiliehus med et årligt nettoenergiforbrug på 60 GJ vil som årligt gennemsnit for perioden 1989-2008 emitte ca. 65 kg SO_2 til atmosfæren, hvis det er elopvarmet, og ca. 8,5 kg SO_2 hvis opvarmningen kræves af et traditionelt oliefyr.

Dette antyder, at en betydelig emissionsreduktion kunne forventes ved at udskifte elopvarmning med oliefyr. Antages dette i en isoleret betragtning, og sættes værdien for det eksisterende elvarmeanlæg til nul, vil den annuiserede meromkostning være ca. 27 kr./ m^2 /år. Den gennemsnitlige årlige SO_2 -emissionsreduktion herved over perioden 1989-2008 kan forventes at være ca. 0,47 kg SO_2 / m^2 /år. Divideres disse tal, fås en samfundsøkonomisk emissionsreduktionspris på ca. 58 kr./kg SO_2 . En tilsvarende betragtning for "BR-61" boliger medfører en SO_2 -reduktionsomkostning på 27 kr./kg SO_2 .

Det skal understreges, at dette er en isoleret betragtning uden inddragelse af systembetragtninger for kraftvarmeområdet. Systembindinger og substitutionseffekter bør indgå i en detaljeret analyse.

4.5. Efterisolering

Til de opstillede standardboliger er et antal efterisoleringsalternativer udvalgt baseret på den isoleringsmæssige udgangssituation. De berørte dele af klimaskærmen vil generelt set ved de valgte alternativer blive bragt op på et isoleringsniveau, der ligger over BR77-niveau (se Bilag 3).

Den detaljerede tekniske udformning af efterisoleringsalternativer er for dette projekts formål underordnet. Blot skal for hver type af energibesparende foranstaltning de sammenhørende værdier for investeringens størrelse, levetid m.v. og nettoenergibesparelsen være realisable og repræsentative.

Det er ikke med de valgte alternativer tilstræbt at nå optimale energi-økonomiske efterisoleringsniveauer, eller at nedbringe det specifikke nettoenergibehov i standardboligerne til et givet niveau.

Det har været målet her at analysere og sammenligne et bredere udvalg af efterisoleringsmuligheder udført i forskellige gradueringer, hvor den energi-økonomiske rentabilitet kan variere betydeligt. Herved fremhæves variationsområdet for emissionsreduktionsmulighedernes omkostningsforhold.

Standardboligerne er beskrevet i afsnit 4.3. Der er tre referenceboliger: to boliger repræsenterer typiske konstruktioner for parcelhuse, der opfylder isoleringsmæssige krav angivet i henholdsvis BR-72 og BR-61, og én er defineret, så den isoleringsmæssigt vil svare til almindelige bygningskonstruktioner fra omkring år 1900.

Dog er det er forudsat, at vinduesfladerne i alle boliger har en k-værdi svarende til 2 lag glas.

Efterisoleringsmulighederne er sammensat af basisalternativer, der vedrører boligernes forskellige yderflader. Basisalternativerne omfatter efterisolering af loft, gulv, vægflader og vinduer. Desuden er natsenkning og fugetætning medtaget.

Ved udvælgelsen af basisalternativer for en given standardbolig er der taget udgangspunkt i bygningsreglementernes fastsatte maksimale k-værdier. En oversigt over disse er sammenstillet i Bilag 3.

Data for basisalternativer er vist i tabellerne 4.10, 4.11 og 4.12.

Kun velkendte efterisoleringsmetoder er taget i betragtning. Sammenhængende priser og nettoenergibesparelser for disse er hentet fra Forsyningskataloget 88.

Alternativerne er bestemt bl.a. ud fra gængse materiale-dimensioner og typiske konstruktionsmæssige muligheder.

Der er i afsnit 4.6 beskrevet beregninger for basisalternativerne enkeltvis og for udvalgte kombinationer af basisalternativer, for hvilke nettoenergibesparelsvirkningerne er tilnærmelsesvis additive.

Forsyningskatalog 88 angiver sammenhængende tal for investeringen og nettoenergibesparelser for at bringe typiske enfamilieboliger, der er opført henholdsvis i år 1975, 1962 og 1900, fra isoleringsmæssigt "opført" tilstand til isoleringsniveauer betegnet "energiattest", "kraftigt isolering" og "lavenergi".

De underliggende tekniske udformninger er ikke specificeret.

Disse alternativer er medtaget i beregningerne. Det er antaget, at levetiden for investeringer i disse alternativer er 40 år.

Tabel 4.10. Efterisolering af 1975-bolig

EBF udfoert på reference parcelhus:

P 75

Grundareal	120 [m ²]
Ydervægsareal	111 [m ²]
Vinduesareal	21 [m ²]
Loftsareal	120 [m ²]

Energibesparende foranstaltninger

	Pris pr. m ² flade [kr/m ²]	E.-bespar. pr. m ² fl. [GJ/m ²]	Invest. [kr]	E.bespar. [GJ]	Invest pr. m ² br. etageareal [kr/m ²]	E.bespar. pr m ² br. etageareal [GJ/m ²]	E.bespar. pr. invest. kr. [MJ/kr]
<hr/>							
Loftsisolering							
Gitterspær + 15 cm	90	.08	10800	9.60	90	.08	.889
Vinduesisolering							
+ 1 lag alm. glas	650	.25	13650	5.25	113.75	.04	.385
Skift til E-glas	1000	.35	21000	7.35	175	.06	.350
Ydervægsisolering							
Hulmur + 8 cm							
- yderlig indv. iso.	700	.09	77700	9.99	647.50	.08	.129
Automatik							
Natsenkning	3500	5	3500	5	29.17	.04	1.429
Tætning af fuger							
30 meter elas. tætn.	40	.05	1200	1.50	10	.01	1.250
EBF, samlede arbejder							
- kraftig isolering	-	-	23000	8	191.67	.07	.348
- lavenergi	-	-	92000	12	766.67	.10	.130
<hr/>							

Tabel 4.11. Efterisolering af 1962-bolig

EBF udfoert på reference parcelhus:

P 62

Grundareal	120 [m ²]
Ydervægsareal	111 [m ²]
Vinduesareal	21 [m ²]
Loftsareal	120 [m ²]

Energibesparende foranstaltninger

	Pris pr. m ² flade [kr/m ²]	E.-bespar. pr. m ² fl. [GJ/m ²]	Invest. [kr]	E.bespar. [GJ]	Invest pr. m ² br. etageareal [kr/m ²]	E.bespar. pr m ² br. etageareal [GJ/m ²]	E.bespar. pr. invest. kr. [MJ/kr]
<hr/>							
Loftsisolering							
Gitterspær + 20 cm	110	.15	13200	18	110	.15	1.364
Vinduesisolering							
+ 1 lag alm. glas	650	.25	13650	5.25	113.75	.04	.385
Skift til E-glas	1000	.35	21000	7.35	175	.06	.350
Ydervægsisolering							
Hulmur + 8 cm	105	.15	11655	16.65	97.13	.14	1.429
- yderlig indv. iso.	700	.09	77700	9.99	647.50	.08	.129
Isolering af gulv							
Krybekælder + 8 cm	120	.10	14400	12	120	.10	.833
Krybekælder + 15 cm	140	.15	16800	18	140	.15	1.071
Automatik							
Natsenkning	3500	5	3500	5	29.17	.04	1.429
Tætning af fuger							
30 meter elas. tætn.	40	.05	1200	1.50	10	.01	1.250
EBF, samlede arbejder							
- energiattest	-	-	26000	31	216.67	.26	1.192
- kraftig isolering	-	-	52000	44	433.33	.37	.846
- lavenergi	-	-	122000	53	1016.67	.44	.434
<hr/>							

Tabel 4.12. Efterisolering af 1900-bolig

EBF udfoert på reference parcelhus:

P 00

Grundareal	120 [m ²]
Ydervægsareal	136 [m ²]
Vinduesareal	21 [m ²]
Loftsareal	80 [m ²]

Energibesparende foranstaltninger

	Pris pr. m ² flade [kr/m ²]	E.-bespar. pr. m ² fl. [GJ/m ²]	Invest. [kr]	E.bespar. [GJ]	Invest pr. m ² br. etageareal [kr/m ²]	E.bespar. pr m ² br. etageareal [GJ/m ²]	E.bespar. pr. invest. kr. [MJ/kr]
<hr/>							
Loftsisolering							
Haneb. + 20 cm	110	.30	8800	24	73.33	.20	2.727
Vinduesisolering							
+ 1 lag alm. glas	650	.25	13650	5.25	113.75	.04	.385
Skift til E-glas	1000	.35	21000	7.35	175	.06	.350
Ydervægsisolering							
36 cm massiv + 10 cm	700	.26	95200	35.36	793.33	.29	.371
Isolering af gulv							
Mod delv opv. + 8 cm	120	.05	9600	4	80	.03	.417
Automatik							
Natsænkning	3500	5	3500	5	29.17	.04	1.429
Tætning af fuger							
30 meter elas. tætn.	40	.05	1200	1.50	10	.01	1.250
EBF, samlede arbejder							
- energiattest	-	-	39000	68	325	.57	1.744
- kraftig isolering	-	-	107000	99	891.67	.83	.925
- lavenergi	-	-	148000	105	1233.33	.88	.709
<hr/>							

De tekniske og økonomiske levetider er i beregningerne sat til:

- 30 år for vinduer,
- 50 år for isolering af loft, gulv og vægflader,
- 15 år for natsenkning, og
- 10 år for fugetætning.

I tabellerne er anført antagne fladedimensioner for standardboligerne. Data opgivet i FK 88 pr. fladeareal er i tabellerne omregnet til værdier gældende for standardboligernes tilsvarende totale fladearealer.

Investeringer og tilhørende nettoenergibesparelser gælder således for udtømmende efterisolering af standardboligen med de pågældende efterisoleringsmuligheder.

I tabellerne er desuden angivet de tilsvarende værdier udtrykt pr. m^2 grundareal af standardboligen. I tabellernes højre søjle er den årlige nettoenergibesparelse pr. kr. investeret angivet. Gennemgås tabellerne ud fra den årlige energibesparelse pr. kr. investeret, ses det, at udpræget lave værdier optræder for invendig isolering af vægflader og for de aggregerede alternativer for efterisolering fra "opført" tilstand til "lavenergi"-niveau.

For flere af de meget attraktive efterisoleringsmuligheder kan det forventes, at meget allerede er udført. De resterende potentialer kan her forventes at være små. Omvendt kan der forventes relativt store potentialer for de investeringstunge alternativer.

Hvorvidt en standardboligs isoleringstilstand efter udført merisolering vil kunne karakteriseres som lavenerginiveau,

kan vurderes ud fra det resulterende specifikke nettoenergi-behov for den modificerede bolig.

4.6. Emissionsreduktionsmuligheder og omkostninger ved efterisolering i enfamiliehuse

I dette afsnit præsenteres beregningsresultater for et antal efterisoleringsalternativer for tre alderskategorier af enfamiliehuse.

Efterisoleringsalternativerne for disse boliger (klimaskærm) er gennemregnet under antagelse af, at opvarmningssystemerne er enten direkte elvarme eller traditionel oliefyring.

Datagrundlaget for beregningerne er beskrevet i afsnittene 4.2, 4.3 og 4.5. Datakilderne er primært:

- Emissionsfaktorer, delvis som anvendt i Statusnotat 88 (afsnit 4.2)
- Brændselsprisprognoser, Ref. 3 (afsnit 4.2)
- Bygningsreglementer (Bilag 3)
- Priser og tekniske data for opvarmningsteknologier og efterisoleringsmuligheder for enfamiliehuse, fra Forsyningskataloget 1988 (afsnit 4.3 og 4.5).

De økonomiske beregninger er udført med en kalkulationsrente på 7% p.a., og beregningsperioden er sat til 20 år.

Priser er angivet i 1988-priser og er ekskl. moms og afgifter.

Som det fremgår af standardboligbeskrivelserne i afsnit 4.3, er det antaget, at alle standardboligernes opvarmede areal er 120 m².

Alle økonomiske og tekniske data er søgt tilpasset de angivne dimensioner for gulv-, loft-, væg- og vinduesflader i referenceboligerne, samt antagelser om specifikke nettoenergibehov i disse.

I princippet er de specifikke resultater kun gyldige for disse boliger, men tallene vil afspejle karakteristiske forhold for en større kategori af boliger, der er i nær samme udgangssituation som standardboligerne - i helhed, eller for enkeltflader.

Resultaterne af modelberegningerne er i det følgende opstillet i tabelform, og for SO₂-emissionerne er hovedresultaterne vist på figurer.

Beregningsresultaterne er præsenteret i nedenstående rækkefølge:

Enfamiliehuse med direkte elvarme
opført henholdsvis

1975: Tabel 4.13A,B og figur 4.3

1962: Tabel 4.14A,B og figur 4.4

Enfamiliehuse med traditionelt oliefyr
opført henholdsvis

1975: Tabel 4.15A,B og figur 4.5

1962: Tabel 4.16A,B og figur 4.6

1900: Tabel 4.17A,B og figur 4.7

Tabel 4.13A.

SCENARIER FOR

PARCELHUS OPPFØRT 1975 ,1 ETAGE, BR-72

OPVARMET MED : DIREKTE ELVARME

ISOLERING : SOM OPPFØRT

REF	BR-72
ALT 1	HULMUR MED 8CM +INDV.ISOLERING, + NATSÆNKNING, + FUGETÆTNING
ALT 2	LOFT GITTERSPÆR +15 CM , VINDUER 2 LAG + 1 LAG
ALT 3	HULMUR MED 8CM +INDV.ISOLERING, + NATSÆNKNING, + FUGETÆTNING (ALT 1) VINDUER 2 LAG + 1 LAG ALM. GLAS ,LOFT GITTERSPÆR +15CM
ALT 4	VINDUER 2 LAG + 1 LAG
ALT 5	FRA "OPFØRT" TIL "KRAFTG"
ALT 6	FRA "OPFØRT" TIL "LAVENERGI"
ALT 7	SKIFT TIL: VARMEPUMPE LUFT/VAND
ALT 8	SKIFT TIL: OLIEFYR , TRADITIONELT NYT
ALT 9	DIREKTE ELVARME + 5 M2 SOLFANGER TIL BRUGSVAND

	NETTOENERGI BEHOV		MER-INVEST. NUVÆRDI		SO2 EMISSION		NOx EMISSION		PAH EMISSION		CO2 EMISSION	
	GJ/M2/ÅR	%	KR/M2		KG/M2/ÅR	%	KG/M2/ÅR		mg/M2/ÅR		KG/M2/ÅR	%
REF	.500	100	0		.54	100	.39		1.4		150.	100
ALT 1	.363	73	597		.39	73	.29		1.0		110.	73
ALT 2	.376	75	180		.41	76	.30		1.1		114.	76
ALT 3	.239	48	777		.26	49	.19		.7		73.	49
ALT 4	.439	88	160		.47	88	.34		1.2		132.	88
ALT 5	.433	87	167		.47	87	.34		1.2		131.	87
ALT 6	.400	80	668		.43	80	.32		1.1		121.	80
ALT 7	.500	100	403		.28	53	.21		.7		79.	53
ALT 8	.500	100	203		.07	13	.04		14.1		54.	36
ALT 9	.500	100	183		.48	89	.35		1.3		134.	89

	BRÆNDSSEL FORBRUG		BRÆNDSELS- UDGIFTER		MER-INVEST. ANNUITET		BRÆNDSELSUDGIFTER + MERINVEST. + VEDLH.	
	GJ/M2/ÅR	%	KR /M2/ÅR	%	KR /M2/ÅR		KR /M2/ÅR	%
REF	.510	100	54.4	100	0		54.4	100
ALT 1	.373	73	39.7	73	56.3		96.1	177
ALT 2	.386	76	41.2	76	17.0		58.2	107
ALT 3	.249	49	26.5	49	73.3		99.9	184
ALT 4	.449	88	47.8	88	15.1		62.9	116
ALT 5	.443	87	47.3	87	15.8		63.0	116
ALT 6	.410	80	43.7	80	63.0		106.7	196
ALT 7	.268	53	28.6	53	38.0		76.2	140
ALT 8	.712	140	32.9	60	19.1		61.6	113
ALT 9	.453	89	48.3	89	17.3		67.1	123

Tabel 4.13B.

SCENARIER FOR

PARCELHUS OPFØRT 1975 ,1 ETAGE, BR-72

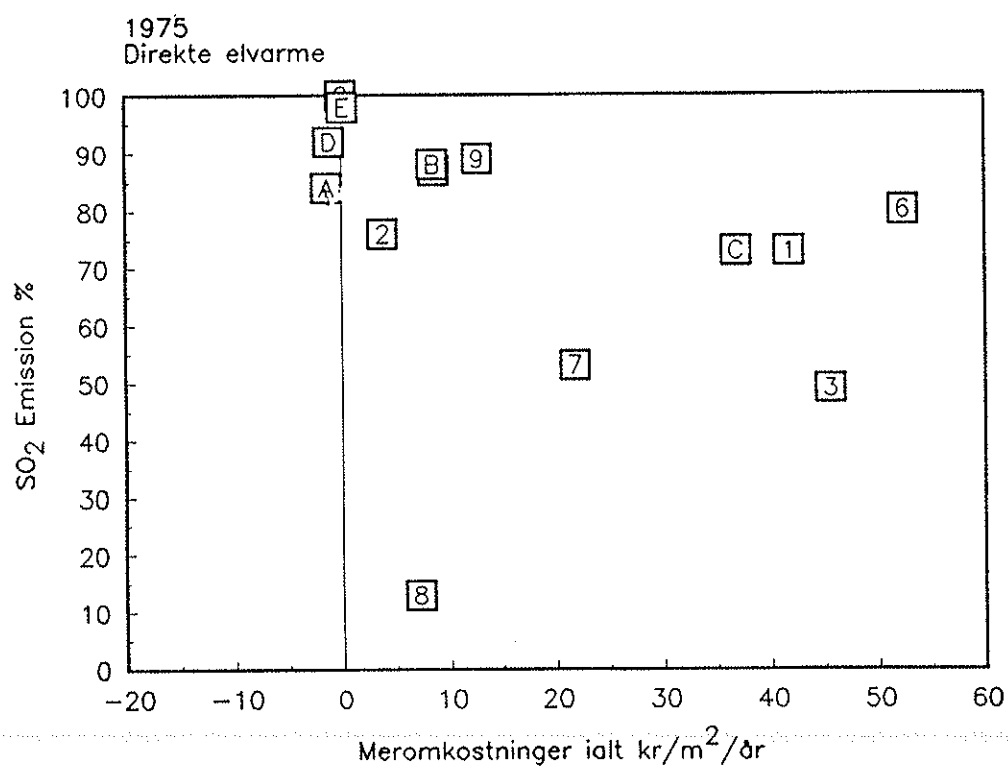
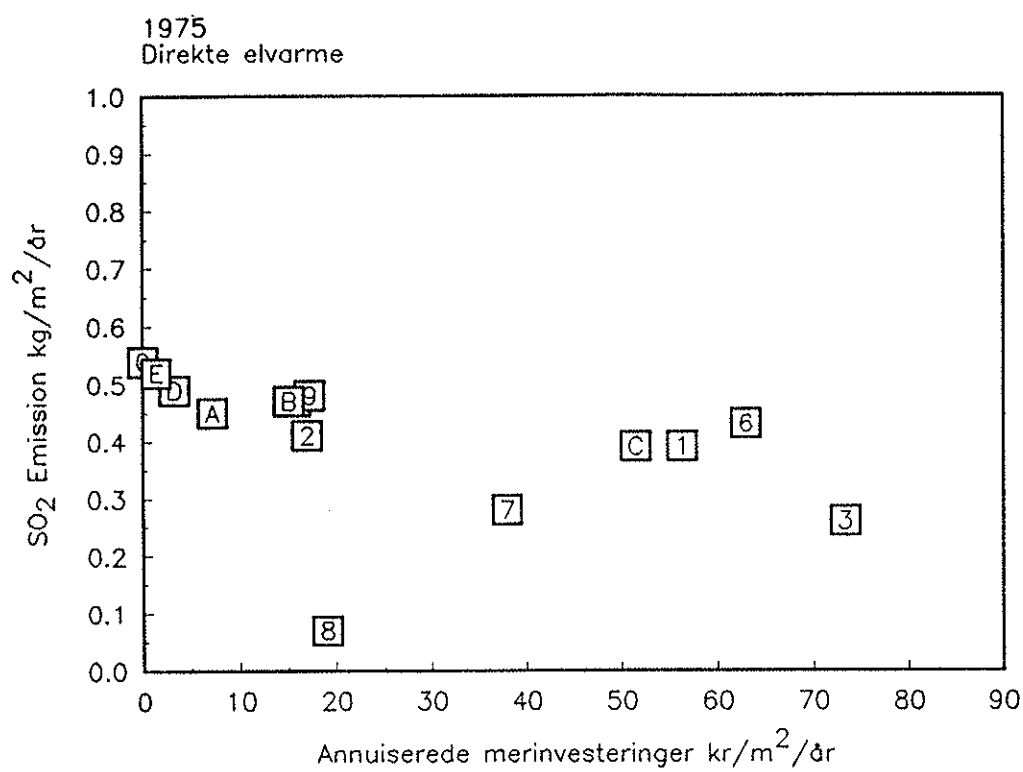
OPVARMET MED : DIREKTE ELVARME

ISOLERING : 8CM OPFØRT

REF	BR-72
ALT A	GITTERSPER + 15 CM
ALT B	SKIFT TIL ENERGI-GLAS
ALT C	HULMUR MED 8CM + 10 CM YDERLIGERE INDVINDIG ISOLERING
ALT D	NATSÆNKNING
ALT E	TÆTNING AF FUGER

	NETTOENERGI BEHOV		MER-INVEST. NUVERDI		SO ₂ EMISSION		NO _x EMISSION		PAH EMISSION		CO ₂ EMISSION	
	GJ/M ² /ÅR	%	KR/M ²		KG/M ² /ÅR	%	KG/M ² /ÅR		ng/M ² /ÅR		KG/M ² /ÅR	%
REF	.500	100	0		.54	100	.39		1.4		150.	100
ALT A	.420	84	76		.45	84	.33		1.2		127.	84
ALT B	.439	88	160		.47	88	.34		1.2		132.	88
ALT C	.361	72	547		.39	73	.29		1.0		110.	73
ALT D	.453	92	35		.49	92	.36		1.3		138.	92
ALT E	.488	98	15		.52	98	.38		1.4		147.	98

	BRÆNDSSEL FORBRUG		BRÆNDSELS- UDGIFTER		MER-INVEST. ANNUITET		BRÆNDSELSUDGIFTER + MERINVEST. + VEDLH.	
	GJ/M ² /ÅR	%	KR /M ² /ÅR	%	KR /M ² /ÅR		KR /M ² /ÅR	%
REF	.510	100	54.4	100	0		54.4	100
ALT A	.430	84	45.8	84	7.2		53.0	98
ALT B	.449	88	47.8	88	15.1		62.9	116
ALT C	.371	73	39.6	73	51.6		91.2	163
ALT D	.468	92	49.9	92	3.3		53.2	98
ALT E	.498	98	53.0	98	1.4		54.5	100



Figur 4.3.

Tabel 4.14A.

SCENARIER FOR

ENFAMILIEHUS OPFØRT 1962 ,1 ETAGE MED KRYBEKÆLDER, BR-61 (VEJLEDNING)

OPVARMET MED : DIREKTE ELVARME

ISOLERING : SOM OPFØRT

REF	OPFØRT EFTER BR-61 VEJLEDNING. HERI INGEN MAX. K-VÆRDIER.
ALT 1	HULNUR+8CM, LOFT+20CM, + NÆTSÆNKNING, + FUGETÆTNING
ALT 2	GULV KRYBEKÆLDER +15 CM, VINDUER 2 LAG + 1 LAG
ALT 3	HULNUR+8CM, LOFT+20CM, + NÆTSÆNKNING, + FUGETÆTNING (ALT 1)
	GULV KRYBEKÆLDER +15 CM, VINDUER 2 LAG + 1 LAG
ALT 4	FRA "OPFØRT" TIL "ENERGIATTEST"
ALT 5	FRA "OPFØRT" TIL "KRAFTIG"
ALT 6	FRA "OPFØRT" TIL "LAVENERGI"
ALT 7	SKIFT TIL: VARMEPUMPE LUFT/VAND
ALT 8	SKIFT TIL: OLIEFYR, KONDENSERENDE KÆDEL
ALT 9	DIREKTE ELVARME + 5 M2 SOLFANGER TIL BRUGSVAND

	NETTOENERGI		MER-INVEST.		SO ₂		NO _x		PAH		CO ₂	
	BEHOV		NUVÆRDI		EMISSION		EMISSION		EMISSION		EMISSION	
	GJ/M ² /ÅR	%	KR/M ²		KG/M ² /ÅR	%	KG/M ² /ÅR		mg/M ² /ÅR		KG/M ² /ÅR	%
REF	.800	100	0		.84	100	.61		2.2		236.	100
ALT 1	.457	57	225		.48	57	.35		1.3		135.	57
ALT 2	.606	76	222		.64	76	.47		1.7		179.	76
ALT 3	.263	33	447		.28	33	.20		.7		78.	33
ALT 4	.542	68	189		.57	68	.42		1.5		160.	68
ALT 5	.433	54	377		.46	54	.33		1.2		128.	54
ALT 6	.358	45	885		.38	45	.28		1.0		106.	45
ALT 7	.800	100	402		.43	52	.32		1.1		122.	52
ALT 8	.800	100	225		.08	9	.04		17.4		64.	27
ALT 9	.740	93	183		.78	93	.57		2.1		219.	93

	BRÆNDSSEL		BRÆNDSSELS-		MER-INVEST.		BRÆNDSSELSUDGIFTER +	
	FORBRUG		UDGIFTER		ANNUITET		MERINVEST. + VEDLH.	
	GJ/M ² /ÅR	%	KR /M ² /ÅR	%	KR /M ² /ÅR		KR /M ² /ÅR	%
REF	.800	100	85.3	100	0		85.3	100
ALT 1	.457	57	48.7	57	21.2		69.9	82
ALT 2	.606	76	64.6	76	21.0		85.6	100
ALT 3	.263	33	28.1	33	42.2		70.3	82
ALT 4	.542	68	57.7	68	17.8		75.6	89
ALT 5	.433	54	46.2	54	35.6		81.8	96
ALT 6	.358	45	38.2	45	83.6		121.8	143
ALT 7	.413	52	44.0	52	38.0		85.7	101
ALT 8	.870	109	39.7	47	21.3		70.6	83
ALT 9	.743	93	79.2	93	17.3		98.0	115

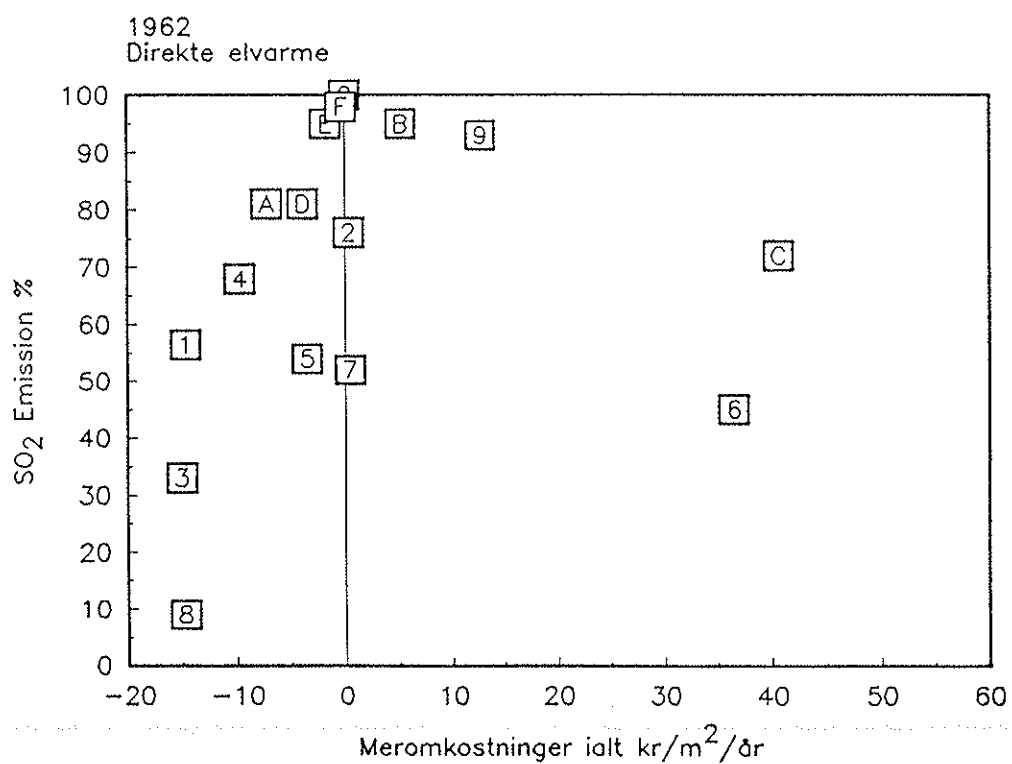
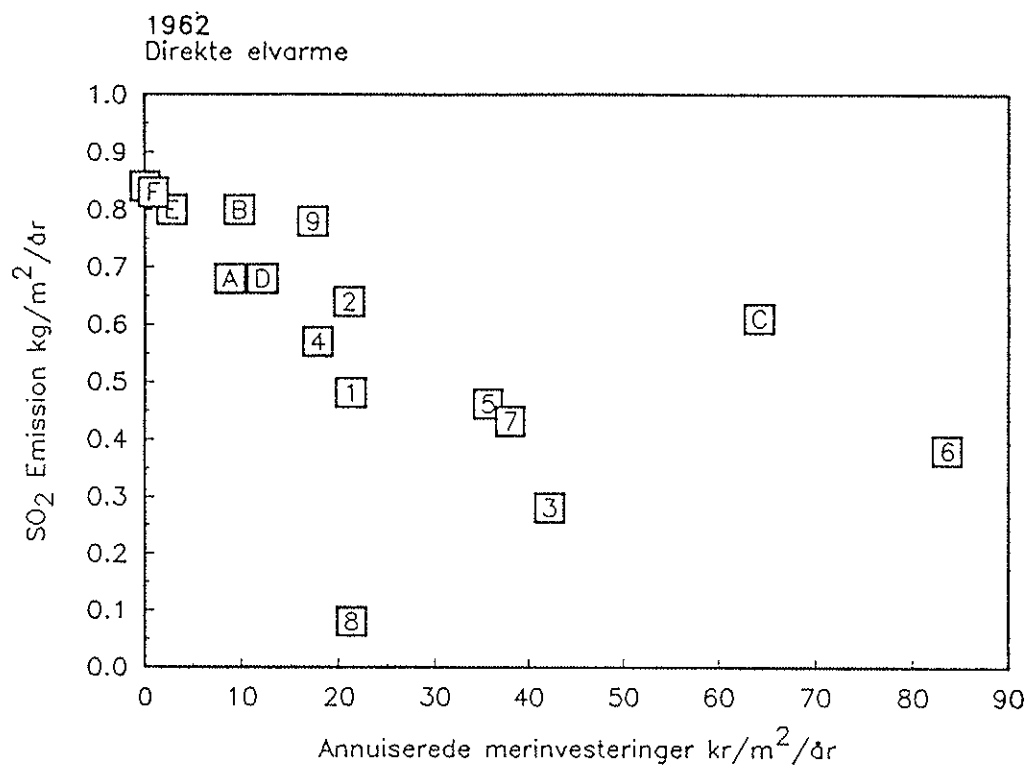
Tabel 4.14B.

SCENARIER FOR

ENFAMILIEHUS OPFØRT 1962 ,1 ETAGE MED KRYBEKÆLDER, BR-61 (VEJLEDNING)
OPVARMET MED : DIREKTE ELVARME
ISOLERING : SOM OPFØRT

REF	OPFØRT EFTER BR-61 VEJLEDNING. HERI INGEN MAX. K-VERDIER.											
ALT A	Gitterspar + 20 cm											
ALT B	VINDUER 2 LAG + 1 LAG											
ALT C	HULMUR+8CM + YDERLIGERE INDVENDIG ISOLERING											
ALT D	KRYBEKÆLDER + 15 CM											
ALT E	NATSÆNKNING											
ALT F	TÆTNING AF FUGER											
	NETTOENERGI		MER-INVEST.		SO2		NOx		PAH		CO2	
	BEHOV		NUVERDI		EMISSION		EMISSION		EMISSION		EMISSION	
	GJ/M2/ÅR	%	KR/M2		KG/M2/ÅR		KG/M2/ÅR		ng/M2/ÅR		KG/M2/ÅR	%
REF	.800	100	0		.84	100	.61		2.2		236.	100
ALT A	.650	81	93		.68	81	.50		1.8		192.	81
ALT B	.756	95	104		.80	95	.58		2.1		223.	95
ALT C	.578	72	680		.61	72	.44		1.6		171.	72
ALT D	.650	81	128		.68	81	.50		1.8		192.	81
ALT E	.758	95	29		.80	95	.58		2.1		224.	95
ALT F	.788	98	10		.83	98	.61		2.2		232.	98

	BRÆNDSSEL FORBRUG		BRÆNDSELS- UDGIFTER		MER-INVEST. ANNUITET		BRÆNDSELSUDGIFTER + MERINVEST. + VEDLH.	
	GJ/M2/ÅR	%	KR /M2/ÅR	%	KR /M2/ÅR		KR /M2/ÅR	%
REF	.800	100	85.3	100	0		85.3	100
ALT A	.650	81	69.3	81	8.8		78.1	92
ALT B	.756	95	80.6	95	9.8		90.4	106
ALT C	.578	72	61.6	72	64.2		125.9	148
ALT D	.650	81	69.3	81	12.1		81.4	95
ALT E	.758	95	80.8	95	2.8		83.6	98
ALT F	.788	98	84.0	98	.9		84.9	100



Figur 4.4.

Tabel 4.15A.

SCENARIER FOR

PARCELHUS OPPFØRT 1975 ,1 ETAGE, BR-72

OPVARMET MED : OLIEFYR , TRADITIONELT NYT

ISOLERING : SOM OPPFØRT

REF	BR-72
ALT 1	HULMUR MED 8CM +INDV. ISOLERING, + NATSENKNING, + FUGETÆTNING
ALT 2	LOFT GITTERSPÆR +15 CM , VINDUER 2 LAG + 1 LAG
ALT 3	HULMUR MED 8CM +INDV.ISOLERING, + NATSENKNING, + FUGETÆTNING (ALT 1) VINDUER 2 LAG + 1 LAG ALM. GLAS ,LOFT GITTERSPÆR +15CM
ALT 4	VINDUER 2 LAG SKIFTES TIL K-GLAS .
ALT 5	FRA "OPFØRT" TIL "KRAFTG"
ALT 6	FRA "OPFØRT" TIL "LAVENERGI"
ALT 7	SKIFT TIL: VARMEPUMPE LUFT/VAND
ALT 8	SKIFT TIL: OLIEFYR , KONDENSERENDE KEDEL
ALT 9	OLIEFYR TRAD. NYT + 5 M2 SOLFANGER TIL BRUGSVAND

	NETTOENERGI		MER-INVEST.		SO2		NOx		PAH		CO2	
	BEHOV		NUVÆRDI		EMISSION		EMISSION		EMISSION		EMISSION	
	GJ/M2/ÅR	%	KR/M2		KG/M2/ÅR	%	KG/M2/ÅR		mg/M2/ÅR		KG/M2/ÅR	%
REF	.500	100	0		.070	100	.040		14.1		54.	100
ALT 1	.363	73	597		.052	75	.030		10.3		40.	73
ALT 2	.376	75	180		.054	77	.031		10.6		41.	76
ALT 3	.239	48	777		.037	52	.021		6.8		27.	49
ALT 4	.439	88	160		.062	89	.036		12.4		48.	88
ALT 5	.433	87	167		.061	88	.035		12.3		47.	87
ALT 6	.400	80	668		.057	82	.033		11.3		44.	81
ALT 7	.500	100	294		.282	404	.206		.7		79.	147
ALT 8	.500	100	67		.053	76	.032		10.9		42.	78
ALT 9	.410	82	183		.061	87	.035		11.6		45.	84

	BRØNDSSEL		BRØNDSSELS-		MER-INVEST.		BRØNDSSELSUDGIFTER +	
	FORBRUG		UDGIFTER		ANNUITET		MERINVEST. + VEDLH.	
	GJ/M2/ÅR	%	KR /M2/ÅR	%	KR /M2/ÅR		KR /M2/ÅR	%
REF	.712	100	32.9	100	0		32.9	100
ALT 1	.518	73	24.0	73	56.3		80.4	244
ALT 2	.537	75	24.9	76	17.0		41.9	127
ALT 3	.343	48	16.0	49	73.3		89.4	272
ALT 4	.625	88	28.9	88	15.1		44.0	134
ALT 5	.618	87	28.6	87	15.8		44.3	135
ALT 6	.571	80	26.4	80	63.0		89.5	272
ALT 7	.268	38	28.6	87	27.7		50.5	154
ALT 8	.549	77	25.5	77	6.3		31.8	97
ALT 9	.588	83	27.4	83	17.3		46.2	140

Figur 4.15B.

SCENARIER FOR

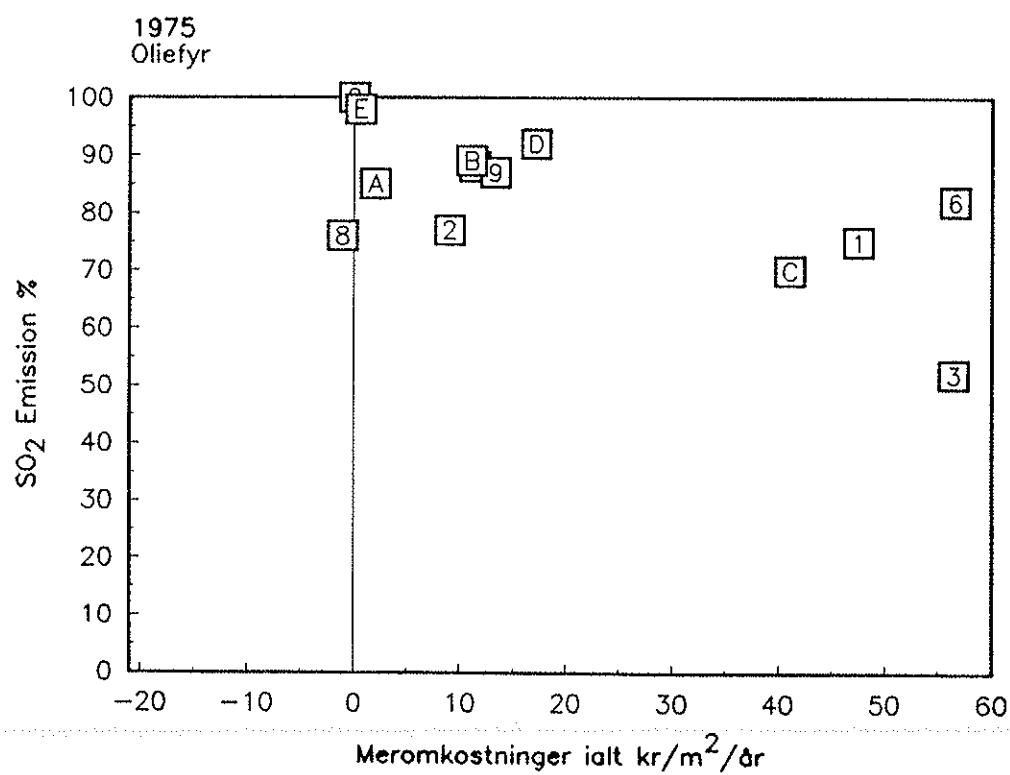
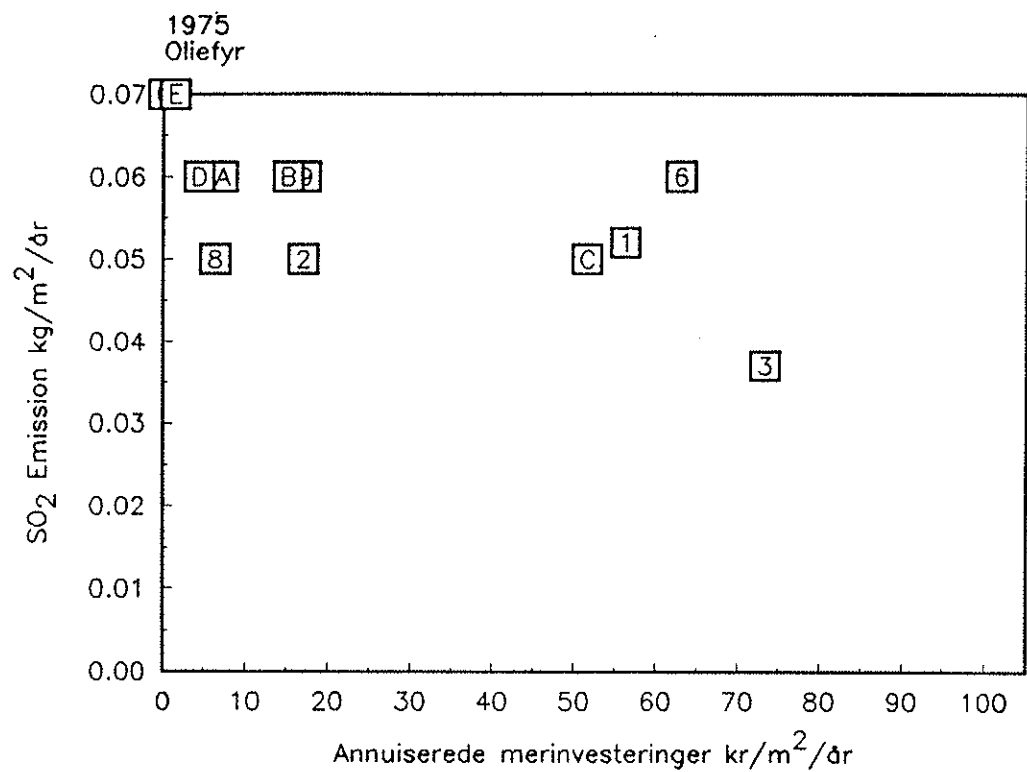
PARCELHUS OPFØRT 1975 ,1 ETAGE, BR-72
OPVARMET MED : OLIEFYR , TRADITIONELT NYT
ISOLERING : SOM OPFØRT

REF BR-72
ALT A GITTERSPER + 15 CM
ALT B SKIFT TIL ENERGIGLAS
ALT C INDV. EFTERISOL. AF HULMUR

ALT D NATSÆNKNING
ALT E TÆTNING AF FUGER

	NETTONENERGI BEHOV		MER-INVEST. NUVERDI		SO2 EMISSION		NOx EMISSION		PAH EMISSION		CO2 EMISSION	
	GJ/M2/ÅR	%	KR/M2		KG/M2/ÅR	%	KG/M2/ÅR		µg/M2/ÅR		KG/M2/ÅR	%
REF	.500	100	0		.07	100	.04		14.1		54.	100
ALT A	.420	84	76		.06	85	.03		11.9		46.	85
ALT B	.439	88	160		.06	89	.04		12.4		48.	88
ALT C	.337	67	547		.05	70	.03		9.5		37.	68
ALT D	.458	92	47		.06	92	.04		13.0		50.	92
ALT E	.488	98	15		.07	98	.04		13.8		53.	98

	BRÆNDSSEL FORBRUG		BRÆNDSELS- UDGIFTER		MER-INVEST. ANNUITET		BRÆNDSELSUDGIFTER + MERINVEST. + VEDLH.	
	GJ/M2/ÅR	%	KR /M2/ÅR	%	KR /M2/ÅR		KR /M2/ÅR	%
REF	.712	100	32.9	100	0		32.9	100
ALT A	.599	84	27.7	84	7.2		34.9	106
ALT B	.625	88	28.9	88	15.1		44.0	134
ALT C	.481	68	22.4	68	51.6		74.0	225
ALT D	.653	92	30.2	92	4.4		34.6	105
ALT E	.694	98	32.1	98	1.4		33.5	102



Figur 4.5.

Tabel 4.16A.

SCENARIER FOR

BYPANILIEHUS OPFØRT 1962 , 1 STAGE MED KRYBEKÆLDER, BR-61 (VEJLEDNING)

OPVARMET MED : OLIEFYR , TRADITIONELT NYT

ISOLERING : SOM OPFØRT

REF	OPFØRT EFTER BR-61 VEJLEDNING. HERI INGEN MAX. K-VERDIER.
ALT 1	HULMUR+8CM, LOFT+20CM, + NATSENKNING, + FUGETÆTNING
ALT 2	GULV KRYBEKÆLDER +15 CM , VINDUER 2 LAG + 1 LAG
ALT 3	HULMUR+8CM, LOFT+20CM, + NATSENKNING, + FUGETÆTNING (ALT 1) GULV KRYBEKÆLDER +15 CM , VINDUER 2 LAG + 1 LAG
ALT 4	FRA "OPFØRT" TIL "ENERGIATTST"
ALT 5	FRA "OPFØRT" TIL "KRAFTIG"
ALT 6	FRA "OPFØRT" TIL "LAVENERGI"
ALT 7	SKIFT TIL: VARMEPUMPE LUFT/VAND
ALT 8	SKIFT TIL: OLIEFYR , KONDENSERENDE KÆDEL
ALT 9	OLIEFYR TRAD. NYT + 5 M2 SOLFANGER TIL BRUGSVAND

	NETTOENERGI BEHOV		MER-INVEST. NUVÆRDI		SO ₂ EMISSION		NO _x EMISSION		PAH EMISSION		CO ₂ EMISSION	
	GJ/M ² /ÅR	%	KR/M ²		KG/M ² /ÅR	%	KG/M ² /ÅR		mg/M ² /ÅR		KG/M ² /ÅR	%
REF	.800	100	0		.103	100	.061		22.6		85.	100
ALT 1	.457	57	225		.064	60	.037		12.9		50.	58
ALT 2	.606	76	222		.083	77	.047		17.1		65.	76
ALT 3	.263	33	447		.040	37	.023		7.5		29.	34
ALT 4	.542	68	189		.075	70	.043		15.3		58.	68
ALT 5	.433	54	377		.061	57	.035		12.3		47.	55
ALT 6	.358	45	885		.052	48	.030		10.1		39.	46
ALT 7	.800	100	344		.448	415	.327		1.2		126.	147
ALT 8	.800	100	67		.081	75	.048		17.4		66.	77
ALT 9	.710	89	183		.099	92	.057		20.1		77.	90

	BRÆNDSSEL FORBRUG		BRÆNDSELS- UDGIFTER		MER-INVEST. ANNUITET		BRÆNDSELSUDGIFTER + MERINVEST. + VEDLH.	
	GJ/M ² /ÅR	%	KR /M ² /ÅR	%	KR /M ² /ÅR		KR /M ² /ÅR	%
REF	1.135	100	52.2	100	0		52.2	100
ALT 1	.651	57	30.1	58	21.2		51.3	98
ALT 2	.862	76	39.7	76	21.0		60.7	116
ALT 3	.378	33	17.6	34	42.2		59.8	115
ALT 4	.771	68	35.6	63	17.9		53.4	102
ALT 5	.618	54	28.6	55	35.6		64.2	123
ALT 6	.512	45	23.7	45	83.6		107.3	205
ALT 7	.426	38	45.4	87	32.4		72.0	138
ALT 8	.876	77	40.4	77	6.3		46.7	89
ALT 9	1.011	89	46.7	89	17.3		65.5	125

Tabel 4.16B.

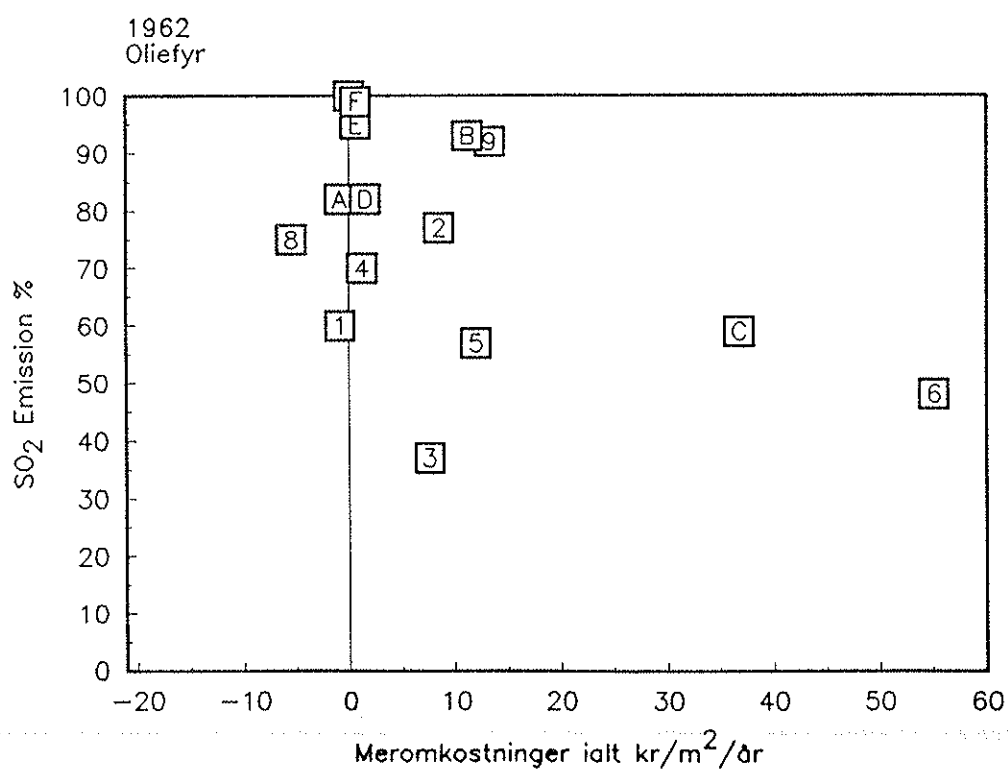
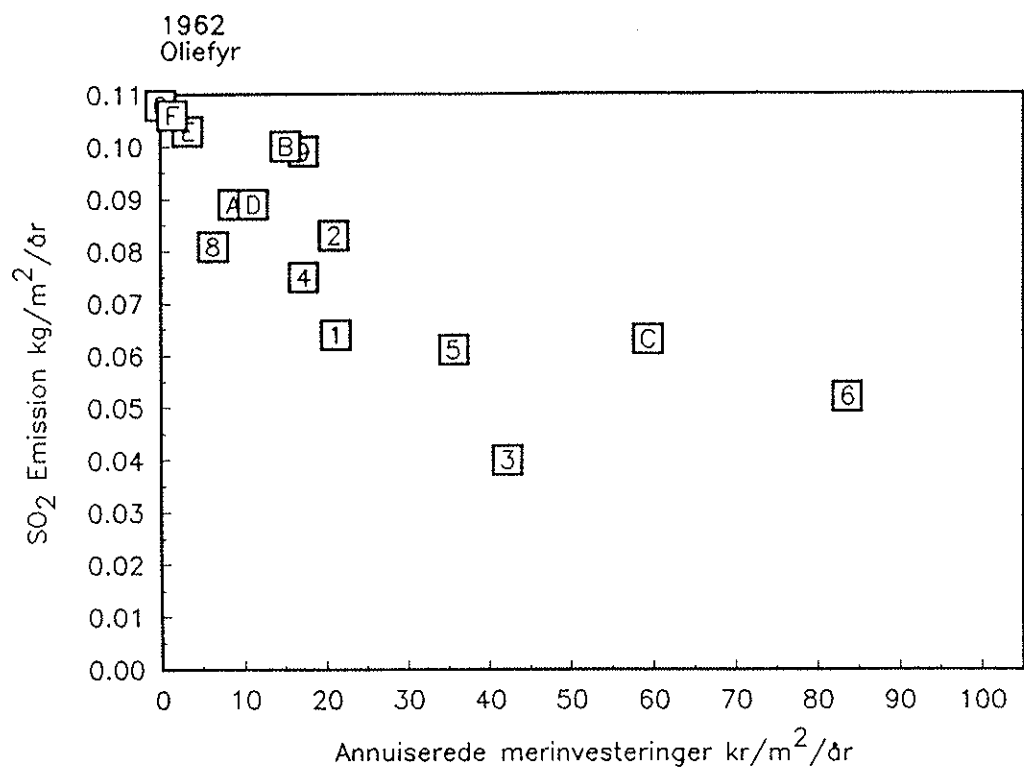
SCENARIER FOR

ENFAMILIEHUS OPFØRT 1962 ,1 ETAGE MED KRYBEKÆLDER, BR-61 (VEJLEDNING)
OPVARNET MED : OLIEFYR , TRADITIONELT NYT
ISOLERING : SOM OPFØRT

REF	OPFØRT EFTER BR-61 VEJLEDNING. HERI INGEN MAX. K-VÆRDIER.
ALT A	LOFT+20CM
ALT B	SKIFT T. ENERGIGLAS
ALT C	HULMUR+8CM + YDERLIGERE INDVENDIG ISOLERING
ALT D	KRYBEKÆLDER + 15 CM
ALT E	WATSÆNKNING
ALT F	TÆTNING AF FUGER

	NETTOENERGI		MER-INVEST.		SO ₂		NO _x		PAH		CO ₂	
	BEHOV		NUVÆRDI		EMISSION		EMISSION		EMISSION		EMISSION	
	GJ/M ² /ÅR	%	KR/M ²		KG/M ² /ÅR	%	KG/M ² /ÅR		mg/M ² /ÅR		KG/M ² /ÅR	%
REF	.800	100	0		.108	100	.061		22.6		85.	100
ALT A	.650	81	93		.089	82	.050		18.4		70.	82
ALT B	.739	92	160		.100	93	.057		20.9		79.	93
ALT C	.450	56	629		.063	59	.036		12.7		49.	57
ALT D	.650	81	118		.089	82	.050		18.4		70.	82
ALT E	.758	95	35		.103	95	.058		21.4		81.	95
ALT F	.788	98	15		.106	99	.060		22.2		84.	98

	BRÆNDSSEL		BRÆNDSLS-		MER-INVEST.		BRÆNDSLSUDGIFTER +	
	FORBRUG		UDGIFTER		ANNUITET		MERINVEST. + VEDLH.	
	GJ/M ² /ÅR	%	KR /M ² /ÅR	%	KR /M ² /ÅR		KR /M ² /ÅR	%
REF	1.135	100	52.2	100	0		52.2	100
ALT A	.924	81	42.6	81	8.8		51.3	98
ALT B	1.049	92	48.3	92	15.1		63.4	121
ALT C	.641	56	29.7	57	59.4		89.0	170
ALT D	.924	81	42.6	81	11.2		53.7	103
ALT E	1.076	95	49.5	95	3.3		52.8	101
ALT F	1.118	98	51.4	98	1.4		52.8	101



Figur 4.6.

Tabel 4.17A.

SCENARIER FOR

ENFAMILIEHUS OPFØRT 1900 ,1.5 ETAGE, ÆLDRE BYGGERI
 OPVARMET MED : OLIEFYR , TRADITIONELT NYT
 ISOLERING : SOM OPFØRT

REF	MODIFICERET 1900 NIVEAU
ALT 1	HANDEBAND LOFT +20CM, + NATSENKNING, + PUGETÆTNING
ALT 2	VINDUER 2+1 LAG GLAS, YDERVÆG MASSIV +10 CM, GULV +8 CM.
ALT 3	LOFT +20CM, + NATSENKNING, + PUGETÆTNING (ALT 1) VINDUER 2+1 LAG GLAS, YDERVÆG MASSIV +10 CM, GULV +8 CM.
ALT 4	FRA "OPFØRT" TIL "ENERGIATTEST"
ALT 5	FRA "OPFØRT" TIL "KRAFTIG"
ALT 6	FRA "OPFØRT" TIL "LAVENERGI"
ALT 7	SKIFT TIL: VARMEPUMPE LUFT/VAND
ALT 8	SKIFT TIL: OLIEFYR , KONDENSERENDE KEDEL
ALT 9	OLIEFYR TRAD. NYT + 5 M2 SOLFANGER TIL BRUGSVAND

	NETTOENERGI BEHOV		MER-INVEST. NUVERDI		SO2 EMISSION		NOx EMISSION		PAH EMISSION		CO2 EMISSION	
	GJ/M2/ÅR	%	KR/M2		KG/M2/ÅR	%	KG/M2/ÅR		mg/M2/ÅR		KG/M2/ÅR	%
REF	1.800	100	0		.235	100	.132		50.8		190.	100
ALT 1	1.546	86	112		.203	86	.114		43.7		163.	86
ALT 2	1.428	79	842		.188	80	.105		40.3		151.	80
ALT 3	1.174	65	954		.155	66	.087		33.2		124.	66
ALT 4	1.233	69	283		.163	69	.092		34.8		131.	69
ALT 5	.975	54	776		.130	55	.073		27.5		104.	55
ALT 6	.925	51	1074		.124	53	.070		26.1		98.	52
ALT 7	1.800	100	612		1.000	426	.731		2.6		281.	148
ALT 8	1.800	100	67		.175	75	.102		39.1		147.	77
ALT 9	1.710	95	183		.226	96	.127		48.3		181.	95

	BRÆNDSSEL FORBRUG		BRÆNDSELS- UDGIFTER		MER-INVEST. ANNUITET		BRÆNDSELSUDGIFTER + MERINVEST. + VEDLH.	
	GJ/M2/ÅR	%	KR /M2/ÅR	%	KR /M2/ÅR		KR /M2/ÅR	%
REF	2.547	100	116.7	100	0		116.7	100
ALT 1	2.188	86	100.3	86	10.5		110.9	95
ALT 2	2.022	79	92.7	79	79.5		172.2	148
ALT 3	1.663	65	76.4	65	90.0		166.4	143
ALT 4	1.747	69	80.2	69	26.7		106.9	92
ALT 5	1.382	54	63.5	54	73.3		136.8	117
ALT 6	1.312	52	60.3	52	101.4		161.7	139
ALT 7	.951	37	101.4	87	57.8		153.4	131
ALT 8	1.963	77	90.0	77	6.3		96.3	83
ALT 9	2.423	95	111.2	95	17.3		130.0	111

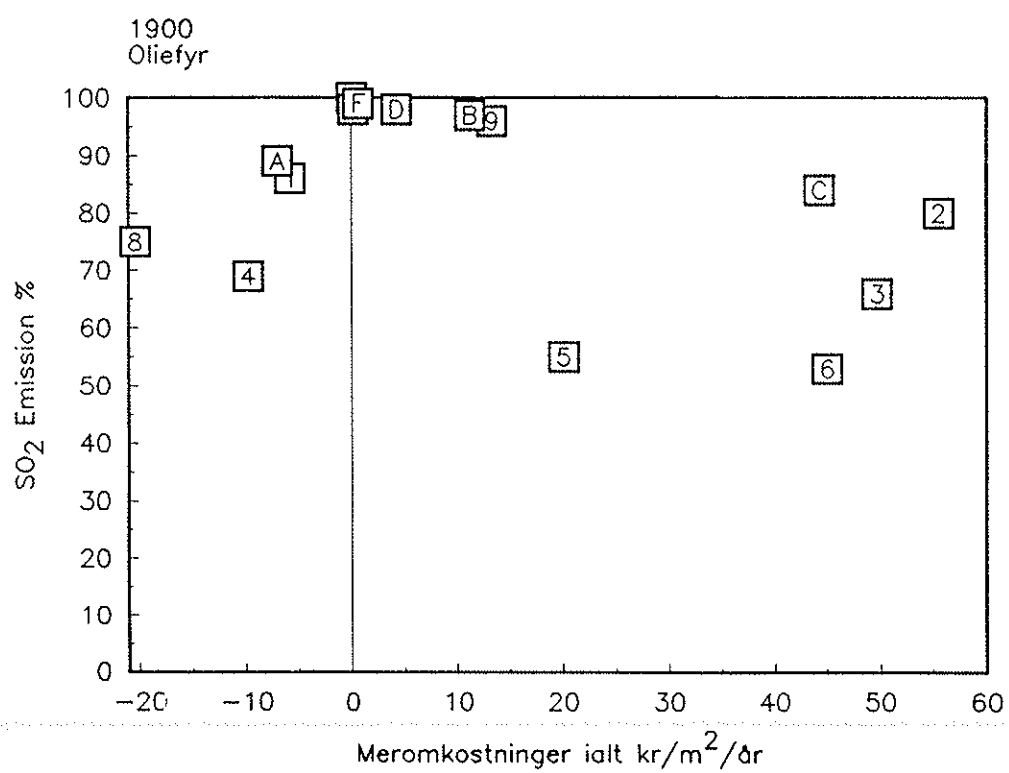
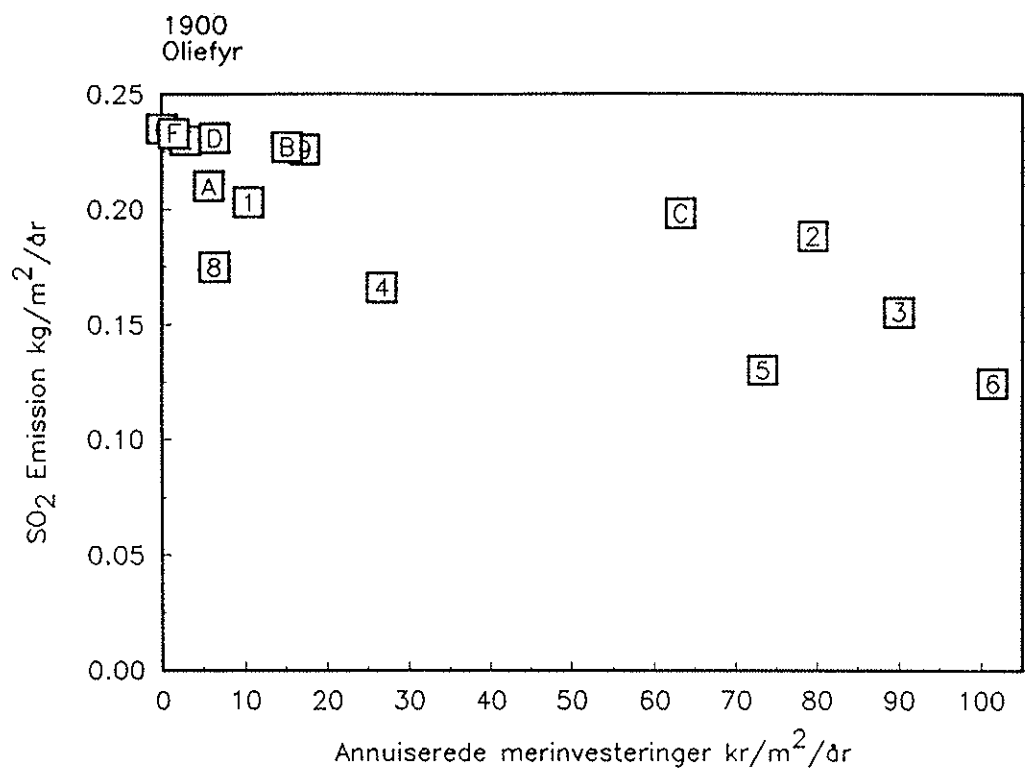
Tabel 4.17B.

SCENARIER FOR

ENFAMILIEHUS OPFØRT 1900 ,1.5 ETAGE, ÆLDRE BYGGERI
OPVARMET MED : OLIEFYR , TRADITIONELT NYT
ISOLERING : SOM OPFØRT

REF	MODIFICERET 1900 NIVEAU											
ALT A	HANSBAND LOFT + 20 CM											
ALT B	SKIPT TIL ENERGI-GLAS											
ALT C	YDERVÆG + 10 CM											
ALT D	GULV MOD DELVIS OPVARMET KÆLDER + 8 CM											
ALT E	NATSÆNKNING											
ALT F	TÆTNING AF FUGER											
	NETTOENERGI BEHOV		MER-INVEST. NUVERDI		SO2 EMISSION		NOx EMISSION		PAH EMISSION		CO2 EMISSION	
	GJ/M2/ÅR	%	KR/M2		KG/M2/ÅR	%	KG/M2/ÅR		mg/M2/ÅR		KG/M2/ÅR	%
REF	1.800	100	0		.235	100	.132		50.8		190.	100
ALT A	1.600	89	62		.210	89	.118		45.2		169.	89
ALT B	1.739	97	160		.227	97	.127		49.1		183.	97
ALT C	1.505	84	670		.198	84	.111		42.5		159.	84
ALT D	1.767	98	68		.231	98	.129		49.9		186.	98
ALT E	1.758	98	29		.230	98	.129		49.7		185.	98
ALT F	1.788	99	15		.233	99	.131		50.5		188.	99

	BRÆNDSSEL FORBRUG		BRÆNDSELS- UDGIFTER		MER-INVEST. ANNUITET		BRÆNDSELSUDGIFTER + MERINVEST. + VEDLH.	
	GJ/M ² /ÅR	%	KR /M ² /ÅR	%	KR /M ² /ÅR		KR /M ² /ÅR	%
REF	2.547	100	116.7	100	0		116.7	100
ALT A	2.265	89	103.8	89	5.8		109.7	94
ALT B	2.460	97	112.8	97	15.1		127.9	110
ALT C	2.131	84	97.7	84	63.3		161.0	138
ALT D	2.500	98	114.6	98	6.4		120.9	104
ALT E	2.488	98	114.0	98	2.8		116.8	100
ALT F	2.529	99	115.9	99	1.4		117.3	101



Figur 4.7.

Øverst i tabellerne er der givet en kort beskrivelse af hvert alternativ. Disse termer knytter an til databladene for basisalternativerne beskrevet i afsnit 4.5.

For hver kombination af standardbolig og opvarmningssystem er efterisoleringsalternativerne nummereret eller givet en bogstavsbetegnelse.

Generelt angiver bogstaver basisalternativer. Tal angiver oftest, at alternativer er en kombination af basisalternativer eller et alternativ, der beskriver forhold for en anden opvarmningsform end referencen.

På figurerne er disse betegnelser indrammet i kvadrater, der således henviser til resultattabeller og til de underliggende forudsætninger.

Generelt angives beregnede størrelser pr. m^2 boligareal, og oftest er alle størrelser udtrykt som årlige værdier. De totale investeringer er angivet både som nuværdier over beregningsperioden og som annuiteter.

I tabellerne er for referenceboligerne og for hvert alternativ angivet specifikke nettoenergibehov, merinvesteringer i forhold til referencesituationen og specifikke emissioner af SO_2 , NO_x , PAH og CO_2 , udtrykt som årligt gennemsnit for perioden 1989–2009. Videre er angivet beregnede brændselsforbrug og -udgifter, merinvesteringerne som annuitet og endelig summen af brændselsudgifterne, merinvesteringer og -vedligehold, udtrykt som annuitet pr. m^2 boligareal.

På figurarkene viser den øverste figur SO_2 -emissionen for hvert alternativ sammen med annuiteten af merinvesteringen.

Referenceboligen er betegnet "R" i plottene. Merinvesteringen for referenceboligen er nul, og på figurerne ligger referenceboligen derfor placeret på y-aksen.

Den nedre figur angiver SO₂-emissionen som %-del af emissionen i referencesituationen. Langs x-aksen er de samlede meromkostninger angivet.

Den nederste figur fremkommer af den øvre figur, når brændselsomkostninger og vedligeholdelsesudgifter tages med i betragtning. Brændselsbesparelser ved et efterisoleringsalternativ vil forskyde alternativet mod venstre i den øvre figur.

Passerer alternativet break-even linien, $x=0$ på den nedre figur, er alternativet økonomisk attraktivt ud fra en ren energi-økonomisk betragtning.

Emissionsreduktioner, der er knyttet til alternativer beliggende til venstre for break-even linien, er energiøkonomisk rentable under de givne forudsætninger.

Projektionen af alternativerne ned på x-aksen i den nederste figur giver et overblik over de opstillede alternativs energi-økonomiske konsekvenser.

Emissionskonsekvenserne aflæses på y-aksen. Tilsvarende grafiske præsentationer kunne anvendes for andre stoffer eller kombinationer af disse for alternativernes emissionskonsekvenser.

Betragtes figur 4.3, der viser beregningsresultater for den elopvarmede BR-72 standardbolig, ses det, at alternativerne "A" og "D" ligger til venstre for break-even linien. Disse alternativer ses af tabel 4.13B at angå yderligere lofts-

isolering og automatik for natsenkning af temperaturen i boligen. SO₂-emissionen reduceres herved til henholdsvis 84% og 92% af emissionen for standardboligen, hvilket også fremgår af tabel 4.13B

Da varmforsyningssystemet i standardboligen er uændret for efterisoleringsalternativerne, vil de øvrige emissionskomponenter for disse alternativer være reduceret til samme %-del.

Alternativerne 7 og 8 viser emissions- og omkostningsforhold for boligen i isoleringsmæssig tilstand som ved opførelsen, dersom opvarmningssystemet havde været henholdsvis et varmepumpesystem eller et oliefyringssystem. Systemet omfatter alle komponenter knyttet til opvarmning af klimaskærmen, inkl. varmfordelingssystem.

SO₂-emissionen ses at være betydeligt lavere for disse anlæg i forhold til direkte elvarme, der udgør referencesituationen. Især ses oliefyret at medføre relativt meget lav gennemsnitlig emission over perioden. I forhold til referencesituationen er SO₂-emissionen ca. 0,5 kg SO₂/m²/år lavere i alternativ 8.

Meromkostningerne for alternativ 8 er beregnet til ca. 7,2 kr./m²/år, hvilket fremgår af tabel 4.13A. Dette betyder, at de totale omkostninger for opvarmning af boligen, som annuitet over perioden 1989-2008, er 7,2 kr./m² højere for oliefyring end for elopvarmning (se afsnit 4.4 tabel 4.7). Differensberegningssituationen tager udgangspunkt i den tomme klimaskærm, der ikke er forberedt for installationen af et forudbestemt opvarmningssystem.

Af figur 4.4 fremgår, at især alternativ 3 er attraktivt. Energi-økonomisk medfører alternativet gevinst, og SO₂-

emissionen samt brændselsforbruget reduceres til ca. 1/3 af niveauet i referencesituationen.

Tabel 4.14A viser, at alternativ 3 er opbygget som summen af alternativ 1 og alternativ 2. I alternativ 3 har enfamiliehuset, der er opført efter BR-61, fået udført: hultursisolering med 8 mm mineraluld indblæst, loftsisolering med ekstra 20 cm mineraluld, natsænkning og fugetætning, under gulvet er der opsat 15 cm mineraluld fra krybekælderen, og endelig er vinduesfladerne, der i referencesituationen har 2 lag glas, efterisoleret med endnu 1 lag glas.

BR-61 standardboligen er i alternativ 3 bragt ned på et årligt nettoenergibehov på ca. 0,26 GJ/m², hvilket er på niveau med BR-72 standardboligens nettoenergibehov i alternativ 3, der er beregnet til 0,24 GJ/m² boligareal.

Figurerne 4.5 og 4.6, hvor opvarmningssystemet er traditionel oliefyring, afspejler tilsvarende forhold for nettoenergibehovene, men de medfølgende SO₂-emissionsreduktioner er væsentlig lavere.

5. KONKLUSION

Der er udviklet en metode og model, der på flere beskrivel-
ses- og detaljeringsniveauer vil kunne anvendes til analyse
af emissions- og omkostningsforhold i boligmassen. Modellen
kan udføre scenarieanalyser på enkeltboligniveau og på et
større udsnit af boligmassen.

Det gennemgående træk ved betragtning af emissionsopgørel-
serne for boligmassen er, at de elbaserede opvarmningstek-
nologier har relativt høje specifikke emissioner for SO_2 ,
 NO_x og CO_2 , og lave værdier for PAH. Brændeovne ligger
meget højt, hvad PAH-emissionerne angår. Naturgasbaseret
opvarmning har gennemgående lave emissioner.

I rapporten er emissionsreduktionsmuligheder ved efteriso-
lering i enfamiliehuse analyseret.

Det fremgår, at der er gunstige emissionsreduktionsmulig-
heder ved visse typer efterisolering i dele af boligmassen.
En del af potentialet for de mest gunstige efterisolerings-
alternativer kan forventes at være udnyttet.

Hvad angår SO_2 -, NO_x - og CO_2 -emissionerne, vil efterisolering
af elopvarmede boliger give de største emissionsreduktioner.

Fokuseres på SO_2 -emissioner i elopvarmede boliger, kan det
økonomisk attraktive potentiale ikke forventes at øges af-
gørende, ved sammenligning med en pris på svovlrensning af
størrelsesordenen 10 kr./kg SO_2 . Muligheder vurderet på
energi-økonomisk grundlag ændres ikke væsentligt på dette
grundlag.

Med de valgte forudsætninger fremgår det, at det specifikke elektricitetsforbrug i elopvarmede boliger, der opfylder BR-61, vil kunne reduceres til ca. 0,25 GJ/m²/år på energiøkonomisk grundlag. Dette svarer til en emissionsreduktion til ca. 1/3 af den oprindelige emission.

I en nyere BR-75 bolig ville efterisolering til et tilsvarende specifikt energiforbrug ikke være energiøkonomisk rentabelt. Emissionsreduktionen herved ville for denne bolig være ca. 50%.

REFERENCER

1. Bygge- og boligpolitisk oversigt 1982-1988. Boligministeriet.
2. Bygge- og boligpolitisk oversigt 1983-1985. Boligministeriet.
3. Bygningsreglementer fra Boligministeriet.
4. Emissionsbegrænsning, Forsuringsprojektet, 1983. Miljøstyrelsen.
5. Energiforbrug i boliger rup(nh aphan FIR-1977, 1987. Teknologisk Institut.
6. Energiforbrug til opvarmning af bygninger. SBI-rapport 174. Statens Byggeforskningsinstitut, 1986.
7. Forsyningskataloget '88.
8. Miljø og energi. Forsuringsudvalget, 1984. Miljøstyrelsen.
9. "Notat om energipriser". Energistyrelsen, 1988.
10. Statusnotat 88. Energiministeriet.

Bilag 1: BBR-88. Oversigt over boligmassen

	Side
Bilag 1.1. Antal boliger	90
1.2. Opvarmet areal	91
1.3. Varmebehov	92
1.4. Brændselsforbrug	93

Bilag 1.1. Antal boliger

Hele landet	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal
Fjernvarme	Naturgas	Ctr/Olie	Ctr/Halm	Ctr/Fast	Varmerpumpe	Ctr/Andet	Ovne/Ei				
Parcelhuse	258237	55691	485703	405	6624	8801	7879	90331			
Tæt/lav bol.	86798	10386	36314	10	170	391	1882	18205			
Stuehuse	737	610	123153	4044	5360	691	2160	7668			
Etageboliger of	2004	174	1141	1	36	0	33	88			
Etageboliger pr	43876	1900	28934	55	228	159	731	2222			
Kontor, serv.off	8311	1098	7645	3	40	13	214	1990			
Kontor, serv.pr.	23984	2275	33888	25	387	164	883	8006			
Fremst.virks.of	449	38	299	1	7	0	94	444			
Fremst.virks.pr	599	94	455	7	26	1	31	866			
Døgninst,hosp.	3940	576	4185	0	39	1	93	505			
Sommerhuse	311	33	5096	0	120	13	462	141167			
IALT	429246	72875	726813	4551	13037	10234	14462	271492			

Hele landet	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal
Ovne/Olie	Ovne/Fast	Ovne/NGas	Ovne/andet	Ingen	Ej fastlagt	Uoplyst	Ialt				
Parcelhuse	15251	11341	898	2261	378	75	43	943918			
Tæt/lav bol.	2497	943	285	653	49	2	5	158590			
Stuehuse	4150	6545	20	478	494	20	17	156147			
Etageboliger of	202	69	20	346	4	0	1	4119			
Etageboliger pr	1770	919	77	3969	215	10	16	85081			
Kontor, serv.off	396	116	31	736	4748	0	12	25353			
Kontor, serv.pr.	1954	763	77	2917	29609	7	91	105030			
Fremst.virks.of	25	17	3	200	3260	1	10	4848			
Fremst.virks.pr	32	9	9	211	5481	1	22	7844			
Døgninst,hosp.	101	38	14	236	3001	0	11	12740			
Sommerhuse	19666	15150	16	6817	14370	52	83	203356			
IALT	46044	35910	1450	18824	61609	168	311	1707026			

Bilag 1.2. Opvarmet areal

	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal
	I M2	I M2	I M2	I M2	I M2	I M2	I M2	I M2	I M2	I M2
Fjernvarme	Naturgas	Ctr/Olie	Ctr/Halm	Ctr/Fast	Varmepumpe	Ctr/Andet	Ovne/El			
Hele landet										
Parcelhuse	35014646	7634450	65441978	66231	938154	1382623	1146757	1170160		
Tæt/lav bol.	12548561	1495423	5023168	2668	22393	49020	271187	2292878		
Stuehuse	129593	110249	19574626	837649	894465	131605	399257	1062796		
Etageboliger af	1725653	80110	695323	402	59954	0	15302	19470		
Etageboliger pr	39689733	1454672	19649608	21034	74750	46633	478346	605837		
Kontor, serv.off	12279526	1203954	6504337	1416	15538	7467	169650	359108		
Kontor, serv.pr.	19233817	1934442	19509877	18121	179423	92431	546645	1970831		
Fremst.virks.of	354225	19324	117161	69	2143	0	28890	80032		
Fremst.virks.pr	326921	23358	219836	1920	18507	36	56589	140076		
Døgninst.hosp.	3772237	425139	3213739	0	16917	830	58983	122465		
Sommerhuse	28652	3872	545843	0	10154	1522	33078	8476607		
HALT	125193564	14384993	140495496	949510	2232398	1712167	3204684	26840260		

Hele landet	Areal I M2	Areal Ovne/Fast	Areal I M2 Ovne/Ngas	Areal I M2 Ovne/andet	Areal I M2 Ingen	Areal I M2 Ej fastlagt	Areal I M2 Uoplyst	Areal I M2 Ialt
Parcelhuse	1455206	1061411	111217	242539	37815	11890	3907	126258984
Tæt/lav bol.	267251	86120	39553	117459	5862	232	718	22222493
Stuehuse	490638	728860	2799	60180	56356	3039	2277	24484389
Etageboliger of	54395	36959	10865	745526	2921	0	868	3447748
Etageboliger pr	746084	333943	37485	4146041	42998	1523	957	67323644
Kontor, serv.off	104898	23688	42896	160562	1010434	0	923	21884397
Kontor, serv.pr.	729363	138066	34299	740898	8227985	1040	7959	53455197
Fremst.virks.of	5717	1896	3257	49745	483672	186	143	1146460
Fremst.virks.pr	6942	1512	843	38720	484984	48	192	1320484
Døgninst.hosp.	35838	8374	36381	51191	696486	0	646	8439226
Sommerhuse	945887	906655	1254	353575	422331	2396	3155	11734981
IALT	4842219	3327484	320849	6706436	11471844	20354	21745	341724003

Bilag 1.4. Brændselsforbrug

Hele landet	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ	Naturgas	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ
Fjernvarme	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ	Ctr/Olie	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ	Brøndsel I TJ
				Ctr/Halm	Ctr/Fast	Varmerpumpe			Ovne/El
PARCELHUSE	22583.1	5073.7	47303.5	67.1	789.2	1011.8	1143.4	15556.8	
TÆT/LAV BOL.	7224.5	846.3	3371.8	2.6	17.5	31.6	238.3	2724.6	
STUEHUSE	106.7	93.2	17797.8	1061.7	943.4	119.5	503.1	1795.5	
ETAGEBOLIGER OFF	1351.5	59.6	564.5	0.3	45.4	0.0	11.6	32.2	
ETAGEBOLIGER PR.	30691.4	1068.9	15902.1	15.6	56.8	40.8	350.6	978.2	
KONTOR, SERV. OFF	8628.1	817.4	4723.6	1.0	10.5	5.9	113.7	527.8	
KONTOR, SERV. PR.	13571.7	1285.8	14177.7	12.3	120.9	73.7	368.2	2873.2	
FREMST.VIRKS.OFF	159.8	7.8	55.0	0.0	0.8	0.0	12.0	73.3	
FREMST.VIRKS.PR.	145.8	9.9	103.0	0.7	7.1	0.0	25.0	131.3	
DØGNINST.HOSP.	3558.1	377.9	3151.9	0.0	15.3	0.9	49.2	227.0	
SOMMERHUSE	4.4	0.6	93.4	0.0	2.0	0.3	7.9	2751.8	
I ALT	88025.0	9641.2	107244.2	1161.2	2008.8	1284.5	2822.9	27671.6	

[illegible]

Bilag 2:

BBR-87. Oversigt over beboelsesarealer

opdelt %-vis

på opførelsesperioder og opvarmningsform

Beboelsesarealer relativt fordelt efter varmeinstallation og opførelsesår (i %) Data: BBR 1/1 1987

	Fjern- varme	Natur- gas	Oliefyr	Halm- fyr	Central- varme/ andet	Ovne/ el	Ovne/ andet	Ingen + uoplyst	Ialt	Ialt, alle arealer relativt fordelt efter opførelsesår
<u>Parcelhuse</u>										
- 1920	13	3	61	0	3	9	11	0	100	17
1920-49	24	4	61	0	3	4	4	0	100	18
1950-65	30	8	54	0	2	4	2	0	100	23
1966-78	32,6	7	47	0	2	11	0,4	0	100	33
1979-83	31	3	31	0	3	32	1	0	100	5
1983-	42	16	10	0	3	27	1	0	100	4
										<u>100</u>
<u>Tæt, lave boliger</u>										
- 1920	41	1	36	0	2	9	11	0	100	15
1920-49	34	5	49	0	4	4	4	0	100	11
1950-65	53	6	36	0	0	3	2	0	100	16
1966-78	66	5	15	0	1	13	0	0	100	28
1979-83	61	6	10	0	2	20	1	0	100	16
1983-	57	19	4	0	2	17	1	0	100	14
										<u>100</u>
<u>Etagehuse, off.</u>										
- 1920	39	5	32	0	1	3	20	0	100	32
1920-49	54	3	29	0	2	1	11	0	100	28
1950-65	49	5	45	0	1	0	1	0	100	17
1966-78	57	3	38	0	2	1	0	0	100	14
1979-83	63	5	29	0	3	1	0	0	100	6
1983-	80	4	72	0	2	2	0	0	100	3
										<u>100</u>
<u>Etagehuse, privat</u>										
- 1920	47	2	33	0	1	3	14	0	100	45
1920-49	50	2	41	0	1	2	4	0	100	32
1950-65	55	3	38	0	1	1	1	0	100	11
1966-78	66	3	26	0	1	3	1	0	100	8
1979-83	69	5	14	0	3	9	1	0	100	2
1983-	72	10	7	0	4	7	0	0	100	2
										<u>100</u>

Bilag 3:

Varmeisoleringskrav fra

danske bygningsreglementer

Varveisoleringskrav fra danske bygningsreglementer.							
Bygningsreglement, udgivelsesår.	1961	1972	1977		1982		1985
Evt. rumtemperatur-opdeling			T>10	T>18	T>10	T>18	
	Max. k-værdi W/m2K	Max. k-værdi W/m2K	Max. k-værdi W/m2K		Max. k-værdi W/m2K		Max. k-værdi W/m2K
Ydervægge og skillevægge							
- vægt over 100 kg/m2	.85	1.00	.60	.40	.60	.35	.40
- teglsten, >2 etager	.85	1.30	-	-	-	-	-
- vægt under 100 kg/m2	.50	.60	.45	.30	.45	.30	.30
- mod uopvarmede rum	1.70	2.00	-	-	-	-	-
- mod rum opvarmet til højst 10 gr.	-	-	.80	.50	.80	.50	-
- mod rum opvarmet til 10 - 18 gr.	-	-	-	.80	-	.80	-
- kældervægge	-	-	-	-	-	-	.40
- ydervægge af glas (se vinduer)	-	!	-	-	-	-	-
- mod tagrum (som ydervægge)	-	!	-	-	-	-	-
Gulve							
- direkte på terræn	.40	-	.45	.30	.45	.30	.30
- nyttelast under 4 kN/m2	-	.45	-	-	-	-	-
- nyttelast over 4 kN/m2	-	.75	-	-	-	-	-
- over ventilerede kryberum	.50	.60	.45	.30	.45	.30	.30
Etageadskillelser							
- over det fri	.40	.45	.30	.20	.30	.20	-
- mod uopvarmede rum	.50	.60	-	-	-	-	.50
- delvis opvarmede rum (kælder m. fritl. varmer.)	.70	.80	-	-	-	-	-
- mod rum opvarmet til max. 10 gr.	-	-	.60	.40	.60	.40	-
- mod rum opvarmet til 10 - 18 gr.	-	-	-	.60	-	.60	-
- mod særligt varme rum (kedelrum, bagerier etc.)	.50	.60	-	-	-	-	-
Tag							
- lofts- og tagkonstruktioner der begrænser opvarmede rum	.40	.45	.40	.20	.40	.20	.20
Vinduer og døre							
- alle vinduer, uanset størrelse	3.00	-	-	-	-	-	-
- V.karalysningsareal < 60 % af samlede ydervægsareal i det enkelte rum	-	3.60	-	-	-	-	-
- V.karalysningsareal > 60 % af ydervægsarealet	-	3.15	-	-	-	-	-
- Vinduer, ovenlys, glasvægge osv.	-	-	3.30	2.90	3.30	2.90	2.90
- Udstillingsvinduer	-	-	3.30	3.30	3.30	3.30	-
- døre	3.00	3.60	-	-	-	-	-
- yderdøre, lænne eksl. evt. glas	3.00	-	-	-	-	-	2.00

Bilag 4:

A MODEL FOR ANALYSING ENVIRONMENT DRIVEN INVESTMENTS
IN THE DANSIH SPACE HEATING SECTOR

L.H. Nielsen & P.S. Christensen

Systems Analysis Department,
Risø National Laboratory
DK-4000 Roskilde, Denmark

Indlæg på konferencen:

Environmental models: emissions and consequences,
22-25 maj 1989, Forskningscenter Risø

A MODEL FOR ANALYSING ENVIRONMENT DRIVEN INVESTMENTS IN THE DANISH SPACE HEATING SECTOR

L.H. Nielsen & P.S. Christensen

Systems Analysis Department, Risø National Laboratory,
DK-4000 Roskilde, Denmark

ABSTRACT

A model has been developed to analyse the economic and technical possibilities for reducing emissions of SO₂, NO_x, CO₂, and PAH in sections of the space heating sector in Denmark. A current project primarily considers energy conservation actions. The project is financed by the Danish Building Agency.

The approach is based on well defined building categories including heating and insulation technologies commonly applied in Denmark. A number of alternatives to these categories are set up and difference project calculations are done taking into account energy consumption, emissions to the environment, and economy. In the model outline these basic scenario elements are combined, sorted and accumulated according to given criteria to build up a number of overall scenarios covering sections of the space heating sector.

The main results are relations between investments, running costs, and emission reductions for the various alternatives.

The model is a planning tool which provides an overview of a number of scenarios with respect to cost effectiveness and emission reduction potential.

1. INTRODUCTION

The impact on the environment of the energy demand has attracted considerable interest in recent years and thus a number of studies and legislation relevant to the subject are promoted. The economic consequences of pollution and the results of given counter-measures are of great importance as the available economic resources are limited in most cases.

In 1988 a project was initiated at Risø National Laboratory with the purpose of studying the effects of various measures carried out in the space heating sector in order to decrease the emissions of polluting material, e.g. by means of more insulation of the dwellings, substitution of one type of heat system with another, etc.

The aim of the project has been to estimate emissions of SO₂, NO_x, CO₂, and PAH from houses with individual heating situated in areas of the country which are not supplied with district heat or natural gas. Furthermore, it has been an aim to assess emission reduction possibilities due to retrofit insulation of dwellings.

This paper will first give a brief overview of the Danish building stock, and typical data concerning insulation standards. Next, emissions from various fuels and heating systems are dealt with. Then, the methods used in the MISA-model which has been developed in this project, are briefly described. Several possible retrofits are then analysed which may be carried out on existing houses in order to decrease pollution. Examples are shown and commented upon and, at last, the possible potential for this kind of pollution control is estimated.

2. THE PRESENT STATUS

2.1. The building stock. Danish building legislation has included mandatory requirements for thermal insulation of all categories of new buildings for more than 25 years. In 1977 strict insulation standards were issued (building regulation act BR-77) that became effective February 1979. Compared to the previous requirements for insulation standards (BR-72) the new requirements approximately halved the thermal transmittance. Further modifications of the building legislation since 1977 have not, in general, changed the level of insulation. Therefore buildings erected since 1979 are relatively homogenous regarding insulation.

The dwellings in Denmark consist of several types. Table 1 shows the total building areas, with emphasis on single family houses along with the space heating system. This report concentrates on single family houses heated by gas oil or by electricity.

Table 1. Total comfort heated area in 1988 in mill.m²

	Oil burner	Electrical heating	Piped energy	Others	Total
Single family houses					
- before 1979	86.6	10.7	49.1	10.2	154.6
- after 1979	3.1	4.3	9.8	1.2	18.4
Others	50.8	11.8	82.7	23.4	168.7
Total	140.5	26.8	139.6	34.8	341.7

Table 1 shows that single family dwellings heated by oil burners amount to about 26% of the total building stock, and that resistance heat covers about 4% of the total gross floor area.

Since the "oil crisis" it has been a central aim in Danish energy policy to reduce energy consumption in the heat sector. Extensive subsidy programs for retrofit insulation of dwellings were implemented in the period 1978-84 that affected approximately half of the total building stock. In the period 1981-1984 approximately Dkr. 2.2 billion was granted from the government giving rise to a total investment in retrofit insulation of about Dkr. 10 billion (ref. 2).

Apart from these programs considerable retrofit insulation is assumed to have been carried out by the owners themselves. The extent of this is not known and at present details are not known about the remaining retrofit insulation potential.

Environment driven investments in the Danish space heating sector

According to ref. 2 the specific gross energy consumption for comfort heat in buildings dropped 45% from an average 1.3 GJ/m²/year gross floor area in 1972 to about 0.7 GJ/m²/year on average in 1983.

Typical heat demands for single family dwellings in their original construction are shown in table 2 (ref. 1).

Table 2. Heat demands based on simplified assumptions concerning average insulation and climate. The number of degree days equals 2874.

Year of construction	1900	1962	1975	After 1979
Net energy demand GJ/m ² /year	1.6	0.8	0.5	0.4

In practice, mainly due to individual behaviour, one finds huge deviations from such numbers, around 50%.

2.2. Emissions due to space heating. Emissions due to the supply of energy for comfort heat depend on the fuel used and the applied heating system.

In Denmark electricity is predominantly generated on coal-fired combined heat and power plants. For the power plants the environmental protection legislation has set up maximum emissions of SO₂ and NO_x (ref. 3). Over the period 1987-2005 SO₂ emissions are to be reduced from a maximum permitted 200,000 tonnes/year in 1987 (actual emissions turned out to be less) to a maximum of 85,000 tonnes/year in year 2005. In the same period the maximum permitted NO_x emissions from the power plants decreases from 145,000 tonnes/year to 60,000 tonnes/year.

If maximum allowable emissions of SO₂ and NO_x and the expected electricity production over the period are combined, upper limit emission factors for electricity at the consumer are as given in table 3.

Concerning the oil burners in dwellings, the emission reduction regulation in Denmark sets an upper limit of 0.2% on the sulphur contents of the fuel which is reflected in the emission factors in table 3.

Table 3. Emission factors used in this report. Averages are for the period 1989-2009. Note: numbers for electricity refer to GJ of electricity

	SO ₂ kg/GJ	NO _x kg/GJ	CO ₂ kg/GJ	PAH mg/GJ
Gas oil	0.09	0.05	74	20
Electricity 1990 1)	1.75	1.17		
2010	0.54	0.38		
Average for period 1989-2009	1.05	0.77	295	3

It is seen from the emission factors in table 3 that SO₂ and NO_x emission reductions due to conservation of electricity are considerably higher than reductions related to gas oil conservation.

1) The time dependence is due to government regulation of the maximum SO₂ and NO_x emissions.

Although, as seen in table 1, there are about 7 times as many m² gas oil heated buildings as electrical heated buildings, these two groups can be expected to cause nearly the same amounts of SO₂ and NO_x emission.

Therefore, emission reduction from retrofit insulation in electrical heated dwellings is of particular interest.

Table 4 shows calculated specific emissions of SO₂, NO_x, CO₂, and PAH related to comfort heat in single family dwellings built in 1975 assuming the specific net energy demands in table 2 and the emission factors in table 3 covering the average for the period 1989-2009.

Emissions calculated in this report only include the fuel consumption.

Table 4. Emissions pr. m² gross floor area due to the heating system in single family dwellings built around 1975 (BR-72)

Emissions per year	SO ₂ g/m ²	NO _x g/m ²	CO ₂ kg/m ²	PAH mg/m ²
Oil burners ¹⁾	70	40	54	14
Resistance heat ²⁾				
1990	900	590	150	1.4
2010	280	190	150	1.4
Average for period 1989-2009	540	390	150	1.4

Typical efficiencies for new oil burners and water based heat distribution systems have been used to convert net energy demand to gross fuel consumption. The efficiency for resistance heating is assumed to be 100%.

An important observation in table 4 is as mentioned before that emissions of SO₂ and NO_x are about one order of magnitude higher for resistance heating systems than for traditional oil burner systems. The opposite is the case for PAH.

Typical emissions from other dwellings can be obtained by scaling according to the relative specific heat demands in table 2. Thus, emissions from dwellings built after 1979 are generally some 30% lower than the numbers in table 4.

3. EMISSION REDUCTION

3.1. The approach. This approach takes its starting point in well defined standard buildings. This allows for detailed calculation of consequences for specific retrofit insulation and heating system alternatives. In practice the building stock is inhomogeneous and the relevance of the alternatives depends on the retrofit insulation potential and the heating systems applied.

To reach an overall relation between viable emission reductions and investments the alternatives must be weighed with the actual potentials in the

1) Characterised as local, low stack emissions.

2) Emissions from central power station with high stacks.

building stock. Unfortunately, at present only limited knowledge is available on the retrofit potential. Thus, only a crude estimate of the emission reduction potential is presented, and emphasis is layed on results for individual buildings.

In order to make the analysis reasonably simple, three single family dwellings have been defined representing typical basic constructions of Danish single family houses. It is assumed that no retrofit insulation has been done with the one exception that all have double glazing. They are all of the same area, 120 m², and built according to the standards around 1900, 1962 and 1975.

As pointed out houses heated by electricity cause high specific emissions. Therefore, in this report it is assumed that the buildings are furnished with electrical heating in the reference case. Only the 1962 and 1975 constructions are considered here because electrically heated buildings with a 1900 insulation standard are unlikely to exist.

A number of retrofit insulation options is investigated. They are characterized by the theoretical net energy saving, investments, lifetime and maintenance costs. Furthermore, a number of heating system alternatives is analysed. Data on investments, efficiencies etc. for the calculations are taken from ref. 1 when possible.

A model has been built (the MISA-model) which calculates the energy, emissions, and economic consequences of a number of scenarios. Net present values and annuities are calculated over a period of 20 years taking into account total investment, fuel costs, maintenance, etc. using an interest rate of 5% p.a. Terminal values are based on linear depreciation.

Figure 1 shows the prices of gas oil and electricity assumed over the period of calculation taken from ref. 4. Prices given in this paper are without taxes.

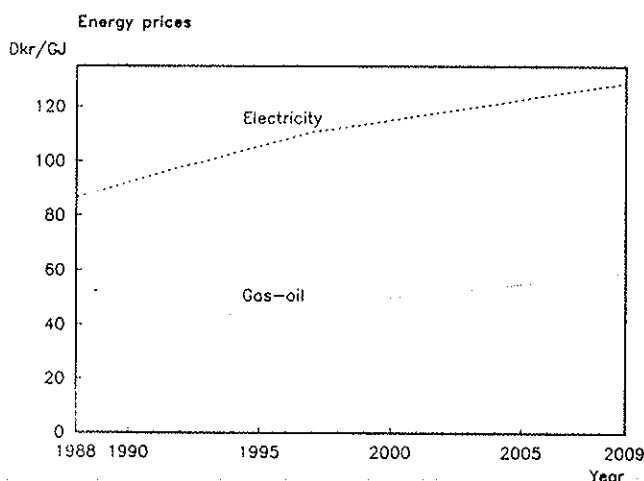


Fig. 1. Prices of gas oil and electricity at the consumer without taxes etc.

In table 5 the reference and alternatives in the 1975 case are described. The two first alternatives concern regulation of room temperatures and a simple improvement of the insulation by sealing all joints between brickwork and doors, windows, etc. Alternatives D to K concern retrofit insulation that involves changes in the building construction. Particularly

alternatives F, H and I make the heat demand extremely low. In the alternatives X and Y the heating system is changed and no insulation is done.

Table 5. The various alternatives studied on a house built in 1975

Reference	A	The house as built according to BR-72 regulations.
Alternative	B	Reduction of the room temperature during night-time.
	C	Sealing of joints.
	D	Double glazing substituted by low energy windows.
	E	15 cm extra insulation on ceilings with mineral wool.
	F	10 cm extra insulation on walls with mineral wool.
	G	As ALT E + double glazing substituted by triple.
	H	ALT B + ALT C + ALT F.
	I	ALT H + ALT G.
	J	Heavy insulation overall.
	K	Very heavy insulation overall.
	L	ALT B + ALT E
	X	Electrical resistance heating substituted by a heat pump.
	Y	Electrical resistance heating substituted by an oil burner.

Cash flow as well as fuel demand and emissions have been calculated in the period 1989-2009 for the reference and for each alternative taking into account fuel/electricity and maintenance costs and, in case the lifetime of parts of the heating system is shorter than the time period, reinvestments are also included. The results are given in table 6. In this table data for SO₂ reductions only are given, but NO_x, CO₂, and PAH will follow proportionally except for the alternatives X and Y.

Table 6. Main results on single family dwelling built in 1975. Reference heating system: Resistance heat

		Net energy demand GJ/m ² /yr	Annuity of investments Dkr./m ² /yr	Fuel costs + investment Dkr./m ² /yr	%	SO ₂ emission kg/m ² /yr	%
REF	A	.50	0	55	100	.54	100
ALT	B	.46	2.9	53	97	.49	92
	C	.49	1.3	54	98	.52	97
	D	.44	12.3	61	110	.47	88
	E	.42	5.6	52	94	.45	84
	F	.28	40.2	72	130	.31	57
	G	.38	13.6	55	100	.41	76
	H	.31	44.4	79	143	.33	62
	I	.18	57.9	79	143	.20	38
	J	.43	12.5	60	110	.47	87
	K	.40	49.9	94	171	.43	80
	L	.38	8.5	50	91	.40	75
	X	.50	48.8	104	190	.28	53
	Y	.50	32.2	92	168	.07	13

It should be noticed that the energy consumption shown in table 6 is generally electricity, except gas oil in alternative Y - where conversion from electrical heating to a traditional oil burner is considered. Due to the relatively low emission factor on SO₂ for gas oil, the specific SO₂ emission in ALT Y is 13% of the emission in the reference case, resistance heating.

It is also seen that ALT G comes out as economically break even, with an SO₂ emission decreased to 76% of the reference. Table 5 shows that this alternative consists of an extra 15 cm mineral wool on ceiling (added to 10 cm mineral wool in the original construction) and substitution of double glazing with triple glazing. In ALT L the emission is 75% of the reference, and fuel and investment costs is only 91% of the reference case. This alternative consists of reduction of room temperature during night-time and an extra 15 cm mineral wool on the ceiling.

A similar set of alternatives is set up for a house built to 1962-standards which gives somewhat higher specific heat demands, and thus, thicker insulation than used for the 1975-house is specified. Table 7 shows the alternatives and the main results are given in table 8.

Table 7. The various alternatives studied on a house built in 1962

Reference	A The house as built according to BR-61 regulations.
Alternative	B Reduction of the room temperature during night-time.
	C Sealing of joints.
	D Double glazing substituted by triple.
	E 20 cm extra insulation on ceilings with mineral wool.
	F 10 cm mineral wool on inner wall and 8 cm mineral wool in cavity wall.
	G 15 cm mineral wool to cellar.
	H ALT D + ALT G.
	I 8 cm mineral wool in cavity wall + ALT B + ALT C + ALT E.
	J ALT I + ALT H.
	K Moderate insulation overall.
	L Heavy insulation overall.
	X Electrical resistance heating substituted by a heat pump.
	Y Electrical resistance heating substituted by an oil burner(c).
	Z Electrical resistance heating and 5 m ² solar collector for hot tap water.

Table 8. Main results on single family dwelling built in 1962. Reference heating system: Resistance heat

		Net energy demand GJ/m ² /yr	Annuity of investments Dkr./m ² /yr	Fuel costs + investment Dkr./m ² /yr	%	SO ₂ emission kg/m ² /yr	%
REF	A	.80	0	86	100	.84	100
ALT	B	.76	2.3	84	98	.80	95
	C	.79	0.8	86	99	.83	98
	D	.76	8.0	90	104	.80	95
	E	.65	6.8	77	89	.68	81
	F	.58	52.2	115	133	.61	72
	G	.65	9.8	80	93	.68	81
	H	.61	16.7	82	95	.64	76
	I	.46	17.0	66	77	.48	57
	J	.26	33.7	62	72	.28	33
	K	.54	14.1	72	84	.57	68
	L	.43	28.2	75	87	.46	54
	M	.36	66.2	105	122	.38	45
	X	.80	55.7	104	121	.43	51
	Y	.80	40.3	91	105	.08	10
	Z	.74	14.7	96	112	.78	93

Particularly in alternative F the inner wall insulation is very expensive and the fuel saving does not compensate for this. As seen in the third column fuel cost has increased 33%. Otherwise, even the heavy retrofit insulation alternatives I, J, K and L are energy-economically cost effective for a house built according to 1961 building regulation code.

The results are presented graphically in figure 2. Each mark represents an alternative as given in table 5 and 7 corresponding to the letters in frames. The upper two figures relate to a house built in 1975, and tables 5 and 6. The lower two figures apply to a single family dwelling built in 1962 and tables 7 and 8.

Figures 2a and 2c show specific SO_2 emissions plotted against the annuity of the investments alone. In figures 2b and 2d emissions relative to the reference situation are plotted against the extra costs for the alternatives. Extra costs include investments, maintenance and fuel costs. Alternatives situated to the left of the break-even line $x=0$ are economically attractive based on the assumptions adopted here.

It is seen in figure 2, that in the 1962 case most retrofit insulation alternatives are placed to the left of the break-even line. Combination of alternatives G and B for the BR-72 dwelling shows that a cost effective reduction to about 65% of the reference SO_2 emission can be obtained. For the dwelling built in accordance with BR-61 standard, alternative J involving very heavy retrofit insulation, comes out as cost effective. Thus, based on these assumptions on fuel prices, interest rate etc., the specific SO_2 emission can be reduced to about $0.35 \text{ kg/m}^2/\text{year}$ for both houses using electrical resistance heating. If shadow prices of the reduced amounts of SO_2 , NO_x , CO_2 and PAH were introduced these percentages could increase.

If the heating system in the buildings had been an oil burner the retrofit insulation investments would be the same of course. However, the SO_2 emissions would be scaled down considerably, according to the specific emissions shown in table 4. Furthermore, the economic effect of reduced energy consumption would be less for gas oil than the case was for electrical heating, as can be seen from the fuel price assumption shown in figure 1. Thus, focusing on SO_2 and NO_x reductions, the most economically favorable emission reduction effects are to be found in buildings using electrical heating.

If focus is on the local environment, insulation of electrically heated building has a minor impact due to the dilution of flue gasses from power plants. Substitution to an oil burner system will increase local emission even though specific SO_2 emissions are reduced considerably, as seen in figure 2 (ALT Y). The local environment will benefit from retrofit insulation of the gas oil heated dwellings.

Plots similar to figure 2 can be chosen in the model calculations for other pollutants or linear combinations of pollutants. If relevant, shadow prices on reduced emission for each component may be given as data. Changing the measure of the emission consequences along the y-axis in figure 2 rearranges the alternatives along this axis, and altering the energy-economic assumptions rearranges the alternatives along the x-axis. If for example PAH and not SO_2 were plotted in figure 2, the oil burner heating system (ALT Y) would appear disfavorable. Using the model, a number of alternatives can be analysed according to different basic criteria.

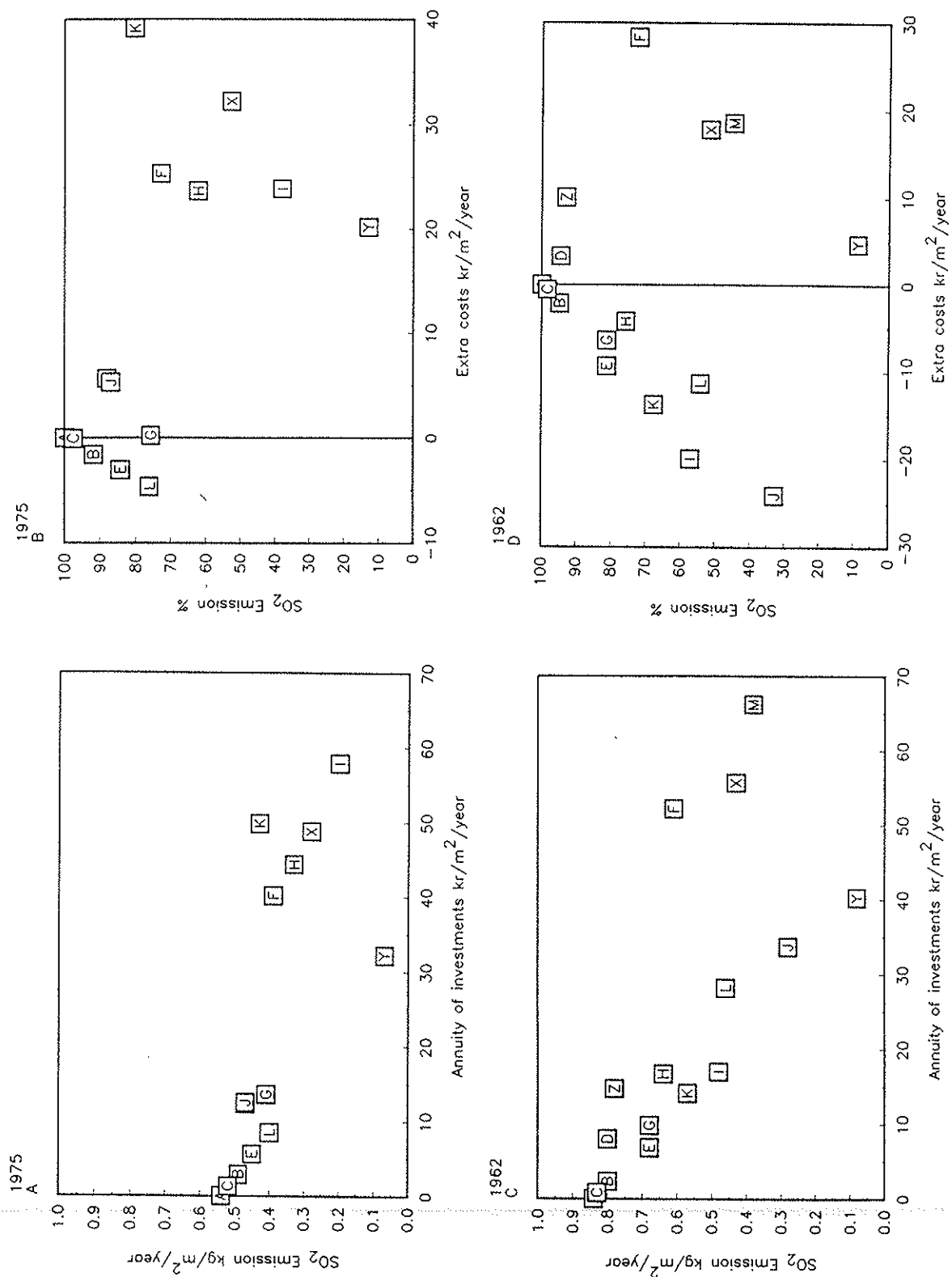


Fig. 2. Main results obtained with the MISA-model

Emission reduction from retrofit insulation of electrically heated dwellings, may be compared to emission reduction possibilities on power plants. If only SO_2 is considered, costs for desulphurisation in the electric power system is of the order of magnitude of Dkr. 10 per kg SO_2 reduced (ref. 5). From figure 2 it can be shown that such a number does not significantly alter the conclusions based on energy-economic considerations alone. Only ALT Y in figure 2 d, conversion to an oil burner, in the BR-61 case will cross a corresponding break-even line.

It is emphasized that only marginal effects have been studied. Interactions, substitutions, constraints etc. in the energy system as a whole, that would involve a systems analysis, have not been considered. Furthermore, it should be noted that this report only considers emissions due to the consumption of fuels. Emissions related to e.g. the production of mineral wool are not considered.

3.2. An estimate of the possible SO_2 -reductions. In the previous sections two typical houses have been analysed. In order to estimate the possible emission reduction if some retrofit is carried out on a significant part of the building stock, the method outlined above is applied on that part of the building stock which is supplied by gas oil or electricity, and furthermore situated outside districts dedicated to supplies with natural gas or district heating. The total emission of SO_2 in Denmark is shown in figure 3 (ref. 4) where the emissions from the various energy-consuming sectors are marked. This report mainly focuses on the emissions from the sector marked individual and a minor fraction from the power plants. As mentioned earlier, only part of this stock is available for retrofits and therefore we assume as an example that a quarter of the dwellings may be taken into account, some 17 Mm^2 oilfired and some 3 Mm^2 electrically heated houses. Assuming that the cost of retrofit should not be more than desulphurization of the flue gas on a power plant, it shows that some 10% of the SO_2 emissions due to space heating or about 1% of the total SO_2 emissions may be saved in 1988.

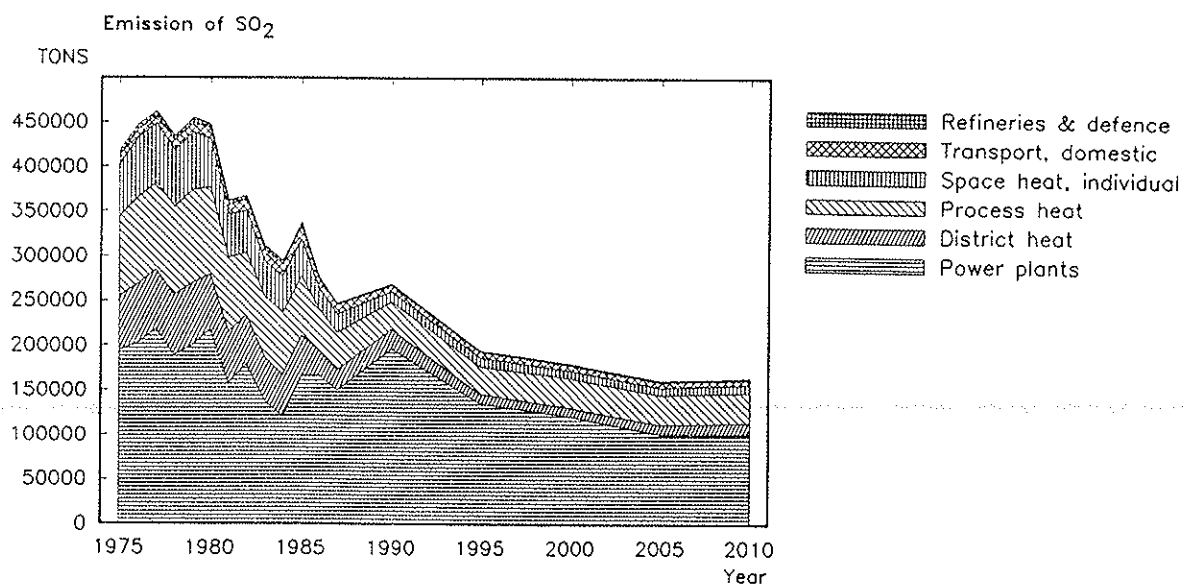


Fig. 3. Total SO_2 emission in Denmark (ref. 4)

CONCLUSION

In this paper we have outlined a method which may be used to set up an order of merit of various measures to decrease the pollution due to space heating, regarding retrofit of the insulation as well as substitution of the heating system. It has been shown that the various methods and alternatives differ significantly, both regarding the costs and the obtained decrease of emissions. For a number of single family houses a considerable cost effective emission reduction possibility exists. A gross estimate of the possible reductions shows that the total emissions from all sources will not be affected to a great extent. Retrofit insulation of electrically heated dwellings yield most SO₂, NO_x and CO₂ emission reduction, whereas for gas oil fired dwellings these emission reductions are less, but the local environment will benefit from such retrofits.

This work will continue with a study of the possible pollution decrease at local community level, one of the goals being to work out an easy-to-use PC-based model which may be utilized by the local authorities.

REFERENCES

1. Forsyningskatalog 88 (Data catalogue for energy technologies), Danish Energy Agency, 1989.
2. Bygge- og boligpolitisk oversigt 1983-85 (Building and estate policy review), Department of housing, 1985.
3. Lov om begrænsning af udledning af svovldioxid og kvælstofoxider fra kraftværker, 1988.
4. Energy in Denmark 1988, a status report. Danish Energy Agency, 1989.
5. Environment and Energy, National Agency of Environmental Protection of Denmark, 1984.

Title and author(s) EMISSIONS FROM THE DANISH BUILDING STOCK AND EMISSION REDUCTION FROM RETROFIT INSULATION OF DWELLINGS (in Danish) Peter Skjerk Christensen, Kirsten Halsnæs, Lars Henrik Nielsen and Henrik Sørensen	Date September 1989
	Department or group System Analysis Department
	Groups own registration number(s) 4434047-88-0-001
	Project/contract no. 443-40
Pages 111 Tables 32 Illustrations 10 References 10	ISBN 87-550-1561-1

Abstract (Max. 2000 char.)

A model has been developed to analyse the economic and technical possibilities for reducing emissions of SO₂, NO_x, CO₂, and PAH in the space heating sector in Denmark.

The approach is based on well defined building categories including heating and insulation technologies commonly applied in Denmark. A number of alternatives to these categories are set up and difference project calculations are done taking into account energy consumption, emissions to the environment, and economy. In the model outline these basic alternatives are combined, sorted and accumulated according to given criteria to build up a number of overall scenarios covering sections of the space heating sector.

The report presents total emissions of SO₂, NO_x, CO₂, and PAH due to space heating in the Danish building stock. Furthermore, specific emissions and total costs using various comfort heating systems are given. Finally, the emission reduction and economic consequences of a number of retrofit insulation possibilities are presented.

The model is a planning tool which provides an overview of a number of scenarios with respect to cost and emission reduction potential.

Descriptors - EDB

AIR POLLUTION ABATEMENT; CALCULATION METHODS; CARBON DIOXIDE; COMBUSTION PRODUCTS; DENMARK; ECONOMIC ANALYSIS; ELECTRIC HEATING; EMISSION; ENERGY ANALYSIS; ENERGY CONSERVATION; ENERGY MODELS; FOSSIL FUELS; FUEL CONSUMPTION; HEATING SYSTEMS; HOUSES; NITROGEN OXIDES; OIL FURNACES; POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS; RESIDENTIAL BUILDINGS; RETROFITTING; SECTORAL ANALYSIS; SPACE HEATING; STATISTICAL DATA; SULFUR DIOXIDE; THERMAL INSULATION